



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**ANÁLISIS DE INTEROPERABILIDAD DE PLATAFORMAS IoT  
APLICADO AL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE  
MONITOREO DE POLUCIÓN DE AIRE PARA LA ESPOCH**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTORES: VALERIA ESTEFANÍA CORONEL SILVA**

**DENNIS MIGUEL TENELANDA SANTILLÁN**

**TUTOR: ING. ALBERTO ARELLANO**

Riobamba-Ecuador

2016

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que la investigación “ANÁLISIS DE INTEROPERABILIDAD DE PLATAFORMAS IOT APLICADO AL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE POLUCIÓN DE AIRE PARA LA ESPOCH”, de responsabilidad de la señorita Valeria Estefanía Coronel Silva y el señor Dennis Miguel Tenelanda Santillán, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Dr. Miguel Tasambay. PhD.

**DECANO FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

\_\_\_\_\_

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE ESCUELA  
DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

\_\_\_\_\_

Ing. Alberto Arellano

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

Ing. Andrés Morocho

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**NOTA:** \_\_\_\_\_

Yo, Valeria Estefanía Coronel Silva, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Valeria Estefanía Coronel Silva

Yo, Dennis Miguel Tenelanda Santillán, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Dennis Miguel Tenelanda Santillán

## **DEDICATORIA**

Han sido largas horas llenas de esfuerzo, lágrimas, sonrisas y buenos momentos, en los cuales en ocasiones el agotamiento me inundaba pero siempre estuvo la mano de Dios para darme toda su fuerza y la Virgen para brindarme un aliento de esperanza, y como no mis abuelitos que día a día me daban su bendición para emprender cada reto dentro de mi vida y de mi carrera, es por esto que les agradezco por bendecirme con dos ángeles que tengo el honor de llamar padres, a los que hoy dedico esta meta que alcance por su lucha persistente, por darnos todo sin esperar nada a cambio por el abnegado amor y paciencia hacia sus hijas por qué el día de hoy podemos decir que han formado a dos profesionales y sobretodo a dos mujeres de valores, es imposible obviar a una persona ejemplar en mi vida, mi hermanita que siempre fue un modelo de fuerza, valentía y perseverancia, de que las mujeres somos muy capaces, y que el único límite que tenemos es nuestra imaginación, padres es momento de rendirles cuentas luego de 5 años en los que han invertido su esfuerzo su trabajo y sobretodo su cariño y apoyo, me enorgullece y me llena de alegría el hoy poder decirles que su sacrificio no fue en vano y que el pago más grande a esa inversión es poder decirles que a mis 22 años logre obtener el primer título de mi vida profesional que solo será el inicio de una gran carrera. Hoy puedo decir finalmente que no fue fácil pero lo logré.

***Valeria E. Coronel S.***

# TABLA DE CONTENIDO

<b>PORTADA.....</b>	<b>I</b>
<b>FIRMA DE RESPONSABILIDADES .....</b>	<b>II</b>
<b>RESPONSABILIDAD DE AUTORES .....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTERNET DE LAS COSAS .....	1
1.1.1 Elementos básicos de IoT.....	2
1.1.1.1 Hardware.....	2
1.1.1.2 Infraestructura .....	3
1.1.1.3 Software .....	3
1.1.2 Tecnologías para desarrollo de IoT .....	3
1.1.2.1 Plataforma .....	3
1.1.2.2 Sensores .....	4
1.1.2.3 Medio de comunicación .....	5
1.1.3 Aplicaciones.....	6
1.1.3.1 Industria .....	6
1.1.3.2 Ciudades Inteligentes .....	9
1.1.3.3 Domótica.....	10
1.1.3.4 Medio Ambiente.....	11
1.2 INICIATIVAS IOT EN ECUADOR .....	12
1.3 WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) .....	13
1.3.1 Definición.....	14

1.3.2	Elementos de una WSN .....	15
1.3.2.1	Nodo sensor.....	16
1.3.2.2	Gateway .....	16
1.3.2.3	Estación base.....	17
1.3.3	Topologías de red.....	17
1.3.3.1	Topología en estrella.....	18
1.3.3.2	Topología en malla.....	18
1.3.3.3	Topología híbrida.....	19
1.3.4	Factores de diseño en una WSN.....	19
1.3.5	Aplicaciones.....	22
1.3.6	Estándar IEEE 802.15.4.....	24
1.3.6.1	Capa física.....	25
1.3.6.2	Capa de enlace de datos .....	26
1.3.7	ZigBee .....	26
1.3.7.1	Capa de red.....	27
1.3.7.2	Capa de aplicación .....	28
1.4	DISPOSITIVOS ZIGBEE.....	28
1.4.1	Nodos ZigBee.....	28
1.4.2	Módulos Xbee .....	29
1.5	PLATAFORMA ARDUINO .....	30
1.5.1	Arduino UNO.....	30
1.5.2	Características Arduino UNO .....	31
1.6	PLATAFORMA INTEL .....	33
1.6.1	Características Intel Galileo .....	33
1.7	PLATAFORMA LIBELIUM.....	34
1.7.1	Waspote.....	34
1.7.1.1	Características de waspote .....	35
1.8	PLAN NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE .....	36
1.8.1	Objetivos del Plan Nacional de Calidad del Aire.....	36

1.8.1.1	Objetivo Principal .....	36
1.8.1.2	Objetivos Específicos.....	36
1.8.2	Calidad de aire en el Ecuador.....	37
1.8.3	Programas del Plan Nacional de Calidad de Aire .....	39
1.8.4	Norma de Calidad Aire Ambiente.....	40
1.8.5	Concentraciones de Contaminantes Comunes en el Aire Ambiente.....	41
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>43</b>
2.1	INTRODUCCIÓN .....	43
2.2	ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	43
2.2.1	Plataformas.....	43
2.2.2	Tecnología WSN.....	44
2.2.3	Radios de comunicación .....	45
2.3	SENSORES.....	47
2.3.1	Contaminantes a Medir .....	47
2.3.1.1	Sensor de Monóxido de Carbono .....	47
2.3.1.2	Sensor de Partículas de Diámetro menor a 10 Micras (PM10) .....	49
2.3.1.3	Sensor de Dióxido de Nitrógeno .....	50
2.4	FUENTE DE ENERGÍA.....	52
2.5	CUBIERTA DE PROTECCIÓN .....	52
2.6	DISEÑO DE RED.....	52
2.6.1	Topología .....	52
2.6.2	Nodos Sensores .....	53
2.6.2.1	Nodo Arduino UNO.....	54
2.6.2.2	Nodo Intel Galileo.....	55
2.6.2.3	Nodo Waspmote.....	57
2.6.3	Gateway .....	57
2.6.4	Estación Base .....	58
2.6.4.1	Interfaz de Control .....	59
2.6.4.2	Interfaz de Usuario.....	59



2.7	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	60
2.8	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	61
2.8.1	Nodos .....	61
2.8.1.1	Arduino UNO.....	61
2.8.1.2	Intel Galileo.....	63
2.8.1.3	Waspmote.....	64
2.8.1.4	Gateway .....	65
2.8.2	Configuración Módulos XBEE.....	66
2.8.3	Interfaz de Control .....	67
2.8.4	Base de Datos.....	68
2.8.5	Interfaz Usuario.....	69
2.9	LOCALIZACIÓN.....	70
2.9.1	Nodo Sensor 1 .....	71
2.9.2	Nodo Sensor 2.....	71
2.9.3	Nodo Sensor 3.....	72
2.9.4	Gateway - Estación Base.....	72
2.10	FACTORES A TOMAR A CONSIDERACIÓN.....	73
2.10.1	Costo de Nodos .....	73
2.10.2	Cobertura de Red.....	74
2.10.3	Código no Reutilizable.....	74
2.10.4	Soporte Técnico e Información.....	74
2.10.5	Canales de Distribución .....	75
2.10.6	Accesorios .....	75
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
3.1	SISTEMA DE MONITOREO DE POLUCIÓN DE AIRE .....	76
3.2	INTEROPERABILIDAD PLATAFORMAS IOT.....	83
3.2.1	Análisis Costo-Beneficio de Red .....	83
3.2.2	Disponibilidad del Sistema .....	85
3.2.3	Recepción de la Información .....	85

3.2.3.1	Pérdidas en la Medición.....	86
3.2.4	Problemas generados por la Red.....	86
3.3	SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	89
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b> Características estándar 802.15.4.....	25
<b>Tabla 1-2</b> Características Físicas Estándar IEEE 802.15.4 .....	26
<b>Tabla 1-3</b> Características Arduino UNO.....	32
<b>Tabla 1-4</b> Ventajas y Desventajas Arduino Uno .....	32
<b>Tabla 1-5</b> Características Intel Galileo Gen1 y Gen 2.....	33
<b>Tabla 1-6</b> Ventajas y Desventajas Intel Galileo .....	34
<b>Tabla 1-7</b> Características de waspmote .....	35
<b>Tabla 1-8</b> Ventajas y Desventajas Waspmote .....	36
<b>Tabla 1-9</b> Programas y Proyectos del Plan Nacional de Calidad de Aire .....	39
<b>Tabla 1-10</b> Concentración Máxima de Contaminantes del Aire .....	41
<b>Tabla 1-11</b> Concentración de contaminantes criterio que define niveles de alerta, alarma y emergencia de calidad de aire .....	42
<b>Tabla 2-1</b> Tabla comparativa plataformas IoT .....	44
<b>Tabla 2-2</b> Ventajas y Desventajas ZigBee .....	45
<b>Tabla 2-3</b> Características Xbee Serie 1 y Serie 2 .....	45
<b>Tabla 2-4</b> Características MQ-7 .....	48
<b>Tabla 2-5</b> Características PPD42NS .....	49
<b>Tabla 2-6</b> Características MICS-2714.....	51
<b>Tabla 2-7</b> Correspondencia Pines Arduino UNO-Placa Acoplamiento .....	55
<b>Tabla 2-8</b> Correspondencia Pines Intel Galileo-Placa Acoplamiento .....	56
<b>Tabla 2-9</b> Configuración Módulos Xbee.....	67
<b>Tabla 2-10</b> Costo Nodos Sensores .....	73
<b>Tabla 3-1</b> Recepción de datos .....	86

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b> Internet de las cosas.....	1
<b>Figura 1-2</b> Visión del Internet de las cosas .....	2
<b>Figura 1-3</b> Plataforma WSN propietaria MICAZ .....	4
<b>Figura 1-4</b> Plataforma Arduino .....	4
<b>Figura 1-5</b> Sensores disponibles para plataformas IoT .....	5
<b>Figura 1-6</b> Medios de Comunicación utilizado por IoT.....	6
<b>Figura 1-7</b> Control de cuatro áreas críticas en Polibol.....	7
<b>Figura 1-8</b> Control visual de cada motor en Inblay.....	8
<b>Figura 1-9</b> Panel Visual de parqueaderos disponibles en Santander.....	9
<b>Figura 1-10</b> Placa de sensores de control de eventos y agricultura.....	10
<b>Figura 1-11</b> Termostato Inteligente NEST.....	10
<b>Figura 1-12</b> Luz Inalámbrica personal HUE.....	11
<b>Figura 1-13</b> Dispositivo EkoBus en transporte público .....	11
<b>Figura 1-14</b> Página de Seguimiento Medioambiental .....	12
<b>Figura 1-15</b> Sensores para plataformas IoT .....	14
<b>Figura 1-16</b> Elementos de una WSN.....	16
<b>Figura 1-17</b> Arquitectura de Nodo Sensor en una WSN.....	16
<b>Figura 1-18</b> Arquitectura Gateway WSN.....	17
<b>Figura 1-19</b> Topología de Red Estrella .....	18
<b>Figura 1-20</b> Topología de red en Malla.....	19
<b>Figura 1-21</b> Topología de Red Híbrida .....	19
<b>Figura 1-22</b> Relación capas IEEE 802.15.4 y modelo OSI.....	24
<b>Figura 1-23</b> Arquitectura estándar ZigBee.....	27
<b>Figura 1-24</b> Red ZigBee.....	28
<b>Figura 1-25</b> Módulos Xbee .....	29
<b>Figura 1-26</b> Modelo de Antena Modulo Zigbee .....	30
<b>Figura 1-27</b> Arduino UNO.....	30
<b>Figura 1-28</b> Intel Galileo Gen 1 .....	33
<b>Figura 1-29</b> Tarjeta waspmote .....	35
<b>Figura 1-30</b> Infecciones respiratorias agudas en Ecuador.....	38
<b>Figura 2-1</b> Modulo Xbee PRO Serie 1 y Antena 5dbi .....	46
<b>Figura 2-2</b> Xbee Shield .....	46
<b>Figura 2-3</b> Xbee Explorer USB Adapter.....	47
<b>Figura 2-4</b> Sensor MQ-7 .....	48

<b>Figura 2-5</b> Sensor PPD42NS.....	49
<b>Figura 2-6</b> Sensor MICS-2714.....	50
<b>Figura 2-7</b> Baterías Portátiles.....	52
<b>Figura 2-8</b> Caja PVC Protectora .....	52
<b>Figura 2-9</b> Topología de Red Proyecto .....	53
<b>Figura 2-10</b> Nodos Sensores Proyecto .....	54
<b>Figura 2-11</b> Nodo Arduino UNO.....	54
<b>Figura 2-12</b> Placa de Acoplamiento Sensores.....	55
<b>Figura 2-13</b> Placa Acople de Alimentación .....	56
<b>Figura 2-14</b> Nodo Intel Galileo.....	56
<b>Figura 2-15</b> Nodo Waspote.....	57
<b>Figura 2-16</b> Nodo Gateway Proyecto.....	58
<b>Figura 2-17</b> Nodo Gateway.....	58
<b>Figura 2-18</b> Estación Base Proyecto .....	58
<b>Figura 2-19</b> Funcionamiento de Aplicación Proyecto .....	59
<b>Figura 2-20</b> Principio de Funcionamiento .....	61
<b>Figura 2-21</b> Arduino IDE.....	62
<b>Figura 2-22</b> Nodo Arduino Implementado.....	63
<b>Figura 2-23</b> Nodo Intel Galileo Implementado.....	64
<b>Figura 2-24</b> Waspote IDE .....	64
<b>Figura 2-25</b> Nodo Waspote Implementado.....	65
<b>Figura 2-26</b> Nodo Gateway Implementado.....	65
<b>Figura 2-27</b> Software XCTU.....	66
<b>Figura 2-28</b> Interfaz de Control .....	68
<b>Figura 2-29</b> Relaciones Base de datos .....	69
<b>Figura 2-30</b> Página Web Desarrollada.....	69
<b>Figura 2-31</b> Gráfica de Información Recolectada.....	70
<b>Figura 2-32</b> Ubicación Red WSN .....	70
<b>Figura 2-33</b> Ubicación Nodo #1.....	71
<b>Figura 2-34</b> Ubicación Nodo #2.....	71
<b>Figura 2-35</b> Ubicación Nodo #3.....	72
<b>Figura 2-36</b> Ubicación Gateway y Estación Base.....	72
<b>Figura 3-1</b> Concentración de CO - Nodo 1 .....	76
<b>Figura 3-2</b> Concentración de NO2 - Nodo 1 .....	77
<b>Figura 3-3</b> Concentración de PM10 - Nodo 1 .....	78
<b>Figura 3-4</b> Concentración de CO - Nodo 2 .....	79
<b>Figura 3-5</b> Concentración de NO2 - Nodo 2.....	79

<b>Figura 3-6</b> Concentración de PM10 - Nodo 2.....	80
<b>Figura 3-7</b> Concentración de CO - Nodo 3.....	81
<b>Figura 3-8</b> Concentración de NO2 - Nodo 3.....	81
<b>Figura 3-9</b> Concentración de PM10 - Nodo 3.....	82
<b>Figura 3-10</b> Costo de Implementación.....	83
<b>Figura 3-11</b> Integridad de Información.....	86

## RESUMEN

Se implementó una red de sensores inalámbricos con distintas plataformas IoT para analizar la factibilidad de su interoperabilidad que permita determinar cuáles son los problemas que afectan a la red o a la integridad de la información. La red implementada fue el resultado de un análisis previo para determinar las plataformas que la conformarían según costos, beneficios y su amplio uso en el desarrollo de proyectos de IoT, siendo las más propicias Arduino, Intel Galileo y Waspnote que, mediante sensores realizaron la medición de contaminantes ambientales presentes en el Ecuador determinados por el Plan Nacional de Calidad de Aire. Los contaminantes seleccionados a controlar fueron Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), y Partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>), seleccionados por la disponibilidad de sus sensores en el mercado y costos asequibles. El modular de la Escuela de Ingeniería Electrónica fue el área elegida a monitorear encontrando como principales generadores de contaminación ambiental la afluencia de vehículos. Las muestras fueron tomadas durante siete días, tiempo en el cual cada nodo estaba encargado de entregar 144 muestras diarias al sistema, todos los datos recolectados por los nodos sensores fueron centralizados a través de una aplicación Java corriendo en la estación base encargada de recibir, procesar y almacenar correctamente los datos en una base de datos. Los valores obtenidos del Sistema de Monitoreo de Polución de Aire son presentados a través de una página web que contiene detalles del sistema además de una representación cuantitativa y gráfica de todos los valores recolectados por cada uno de los nodos de la red durante el periodo de tiempo que se encontró operativa. Con los resultados obtenidos se concluyó que la interoperabilidad de distintas plataformas IoT es factible en un 99.9%, pues los datos recibidos presentaron un nivel muy bajo de pérdidas en un 0.1% generado por la plataforma Arduino; en términos generales los resultados demuestran que la red planteada es totalmente funcional y cumple con los requerimientos de un sistema sensor como el presentado sin embargo, se recomienda desarrollar sistemas con plataformas IoT homogéneas ya que permite reducir el tiempo de configuración y despliegue, a diferencia de un sistema heterogéneo donde se necesita una configuración personalizada para cada uno de sus nodos y por lo tanto se incrementa considerablemente el tiempo necesario para tener una red completamente funcional.

**Palabras Clave:** <POLUCIÓN><INTERNET DE LAS COSAS (IOT)><CONTAMINACIÓN AMBIENTAL><RED SENSORIAL INALAMBRICA (WSN)><SENSOR [CONTAMINACIÓN]>

## SUMMARY

To be implemented in the modular School of engineering electronics a network of wireless sensors with different platforms IoT to analyze the feasibility of interoperability enabling to determine what are the problems that affect the network or the integrity of the information. The implemented network is the result of a preliminary analysis to determine the platforms that will make it according to costs, benefits, and its extensive use in the development of IoT projects, being the richest Arduino, Intel Galileo and Waspote who, sensing performed the measurement of environmental contaminants in the Ecuador determined by national air quality Plan. Selected to control pollutants were carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and particles smaller than 10 micros (PM<sub>10</sub>), selected by the availability of its sensors on the market and affordable costs. In the area to monitor the influx of vehicles was found as the main generator of pollution. The samples were taken during seven days, time in which each node was in charge of delivering 144 daily samples to the system, all data collected by the sensors nodes were centralized through a Java application to run on the charge base station receive, to process and store correctly received date in a database. The values obtained from the air pollution monitoring system are presented through a web page containing details of the system, as well as a quantitative and graphical representation of all collected values, for each of the nodes of the network during the period of time it was encountered operational. With the results concluded that the interoperability of different platforms IoT is feasible in a 99.9%, as the data received showed a very low level of losses at a 0.1% generated by the Arduino platform; overall the results demonstrate that the proposed network is fully functional and complies with the requirements of a system sensor like the one presented, however, is recommended to develop systems of platforms IoT homogeneous since it allows to reduce time of configuration and deployment, unlike a heterogeneous system where you need a custom configuration for each of its nodes and is therefore increased considerably the time needed to have fully functional network.

**Keywords:** POLLUTION, SENSOR, IOT, WSN, INTEROPERABILITY, ZIGBEE



# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

El elemento central de la nueva tendencia en cuanto a redes, es el Internet de las cosas (IoT), que representa la próxima evolución de Internet, que será un enorme salto en su capacidad para reunir, analizar y distribuir datos que podemos convertir en información, conocimiento y en última instancia, sabiduría. IoT llegó para cambiar todo, incluso a nosotros mismos. Si bien puede parecer una declaración arriesgada, hay que tener en cuenta el impacto que Internet ha tenido sobre la educación, la comunicación, las empresas, la ciencia, el gobierno y la humanidad. Claramente Internet es una de las creaciones más importantes y poderosas de toda la historia de la humanidad. Ahora debemos tener en cuenta que

Ha existido una evolución de tecnologías inalámbricas, desde tecnologías apenas recordadas como Irda (Infrared Data Association), que pese a no depender de cableado, tenía una limitación en cuanto a distancia, luego apareció WPAN para comunicaciones punto a punto, Bluetooth para redes de corto alcance, Zigbee para redes de alcance medio, además de otras tecnologías como WiFi, WLAN, WIMAX, M2M, hasta el actual avance que se le ha denominado Redes de Sensores Inalámbricos o WSN, estos estándares han sido empleados para innumerables aplicaciones incluso para la tendencia más actual que es el Internet de las Cosas

La red antecesora de WSN fue el Sistema de Vigilancia Sónica (SOSUS), desarrollado por el ejército de Estados Unidos en la década 1950 para detectar y rastrear submarinos soviéticos, posteriormente la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA) empezó a experimentar e investigar sobre estas redes y sus posibles aplicaciones, con el proyecto Distributed Sensor Networks (DSN) en el año 1980. Las redes de sensores inalámbricas es una tecnología que está en evolución, su estructura consta de cientos o miles de nodos o sensores que permiten la recolección de datos de diversas índoles, WSN aun estando en desarrollo WSN ya tiene un sinnúmero de aplicaciones tales como monitoreo de la calidad del aire, la detección de incendios forestales, la prevención de desastres naturales, entre otras

Han existido algunas investigaciones sobre el IoT, y WSN, entre las más relevantes están una tesis desarrollado en la Universidad Técnica del Norte sobre IPv6 en redes WSN para el monitoreo de una granja, además existe en red un trabajo de grado realizado en la ESPOCH, sobre las topologías físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales, la presente investigación pretende completar e implementar lo planteado en estos trabajos.

Actualmente, los problemas ambientales como la polución y contaminación, han crecido por el uso indiscriminado de sustancias peligrosas que día a día aumentan y con ellas el riesgo para la salud humana así como también para la de la flora y fauna que recepta estos tóxicos, las redes de sensores inalámbricas poseen una característica importante denominada Inteligencia Ambiental que permite tener medidas de las variables presentes en la atmósfera, y determinar las posibles soluciones, es por esto que las redes WSN pueden mejorar la productividad, reducir los costos e incluso salvar vidas.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuán beneficioso puede resultar la implementación de una red WSN para la detección de polución ambiental basada en plataformas IoT interoperables?

### **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Cuáles son los protocolos y tecnologías utilizados por cada una de las plataformas IoT?
- ¿Cuáles son los problemas que surgen al no utilizar plataformas IoT del mismo tipo?
- ¿Qué nivel de fiabilidad tiene la información emitida en redes con diferentes sistemas embebidos interoperables en la misma red?
- ¿Cuál es el porcentaje en que se ve reducido el tiempo de vida energética de los dispositivos que intervienen en una red interoperativa?

### **JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

#### **• JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La idea de mantener conectados diferentes objetos, dispositivos e incluso personas para transmitir y compartir datos sin ser necesario la interacción directa con un computador, ha permitido el desarrollo del concepto del Internet de las Cosas (IoT). En la vida diaria el IoT se encuentra presente principalmente con los teléfonos inteligentes y sus diferentes tecnologías de conectividad que incorporan, todo esto ha provocado la tendencia que la nueva generación de hardware incorpore diferentes sensores y características para interactuar directamente con Internet. Para alcanzar esta meta actualmente existen las WSN (Wireless Sensor Network) que serán la clave tecnológica de IoT para su despliegue e implementación, es así como en 2014 el mercado de IoT a escala global superó los 650.000 millones de dólares, y se proyecta que en 2020 alcanzará 1,7 billones de dólares obteniendo un crecimiento anual de 16,9%.

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, es así como en 2013 la OMS a través de investigaciones sobre cáncer determinaron que las partículas de contaminación del aire exterior han influenciado al creciente índice de enfermedades cancerígenas, especialmente el cáncer de pulmón. Según estimaciones de 2012 la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provocan cada año 3,7 millones de defunciones prematuras. En nuestra sociedad la exposición a este tipo de contaminación en su totalidad casi pasa desapercibida, principalmente por la costumbre que se ha adquirido a encontrarse desde muy tempranas edades y durante largas jornadas expuesto a este tipo de contaminación, sin embargo, no se ha tomado conciencia de las consecuencias que puede traer a largo plazo para la salud.

El presente proyecto busca mediante el estudio de plataformas de IoT con mayor aceptación en el mercado, y la investigación de tecnologías utilizadas en las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN), debido a que este tipo de redes se han convertido en la tendencia actual para el avance de IoT, recopilar la información necesaria para desarrollar un sistema de monitoreo que permita evaluar la calidad de aire existente en la ESPOCH. Dicho sistema permitirá recopilar y almacenar datos en tiempo real para ser representados gráficamente y determinar los niveles de polución de aire que afectan al área monitoreada

- JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Los avances tecnológicos a nivel mundial han permitido mejorar la calidad de vida de las personas, es así como IoT se ha convertido en la catapulta para el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones que permitan resolver problemas de común interés, entre estos problemas encontramos la contaminación del aire en la ciudad de Riobamba y sus efectos nocivos a la salud, que según el Plan Nacional de Calidad de Aire en Ecuador realizado en 2010 la provincia de Chimborazo registra 31 764 casos de infecciones respiratorias agudas.

El avance de los sistemas WSN permiten la configuración de una red escalable y con un nodo centralizado con la información que sea capaz de recolectar la red, además de permitir largos periodos de operación a base de fuentes de energía portátiles debido a su bajo consumo energético; todo esto ha permitido que las plataformas IoT vayan reemplazando gradualmente a los diferentes sistemas tradicionales que se encuentran en el mercado.

Con las características de las plataformas IoT es posible desarrollar un sistema de monitoreo de calidad de aire en la ESPOCH, para determinar los niveles de polución máximos y mínimos, así como los periodos más perjudiciales a los que se encuentra expuesta la comunidad politécnica;

todo esto con diferentes ventajas respecto a los tradicionales métodos cableados, además de permitir determinar cuáles serían los posibles efectos nocivos a la salud.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

Analizar la interoperabilidad de plataformas IoT aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de polución de aire para la ESPOCH.

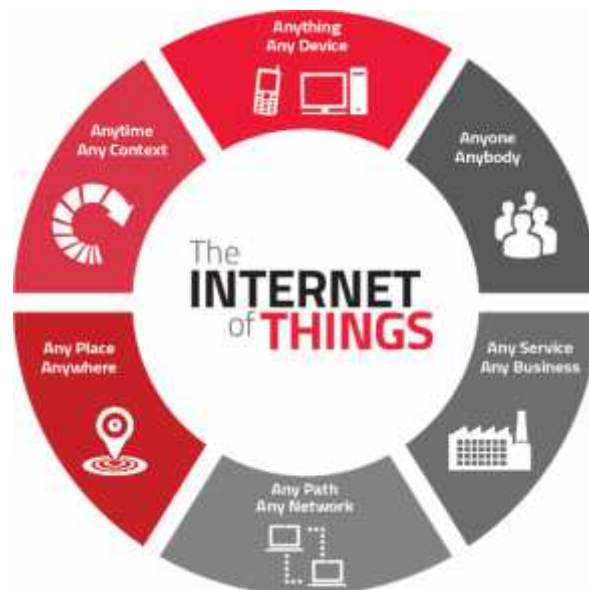
### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estudiar las principales características de las plataformas IoT.
- Determinar el nivel de interoperabilidad entre las plataformas de IoT seleccionadas.
- Desarrollar un sistema de monitoreo de calidad de aire en la ESPOCH con plataformas IoT para la recolección de muestras.
- Validar la fiabilidad de la plataforma de IoT implementada

# 1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1 INTERNET DE LAS COSAS

Internet en sus inicios fue desarrollado con el objetivo de compartir únicamente información, al pasar de los años progresivamente ha evolucionado permitiendo mejorar los servicios que ofrece al usuario desde prestar servicios de streaming de voz como de video hasta realizar transacciones bancarias desde la comodidad del hogar.



**Figura 1-1** Internet de las cosas

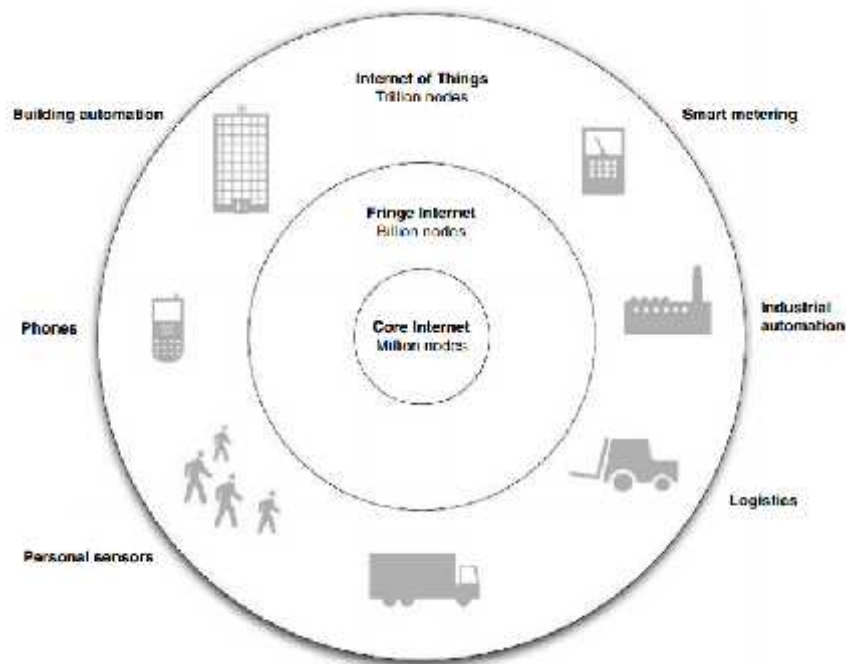
Fuente: (IoT Worm, 2015)

El término IoT, traducido como Internet of Things, define cualquier objeto o cosa con capacidad de conectarse a la red e interactuar con otro dispositivo o persona, teniendo para el año 2014 alrededor de dos mil millones de dispositivos conectados, excluyendo teléfonos inteligentes (Bliznakoff del Valle, 2014 pág. 7).

El impacto económico que es posible a través de proyectos de IoT han impulsado que grandes empresas se involucren en esta nueva tendencia, tomando en cuenta que las primeras empresas involucradas con este tipo de proyectos prevén ingresos de un trillón de dólares en el 2020 gracias a IoT, presentando alrededor de 50 billones de equipos conectados a la red (Bliznakoff del Valle, 2014 pág. 6).

La *Figura 1-2* detalla cada una de las capas como está compuesta Internet en la actualidad, desde su capa más interna donde se concentran los nodos principales que dan vida al Internet, pasando por la capa intermedia donde se encuentran los principales dispositivos del usuario

final, hasta llegar a la capa externa que abarca todos los dispositivos u objetos englobados en IoT.



**Figura 1-2** Visión del Internet de las cosas

Fuente: (Shelby, y otros, 2011)

La idea fundamental de IoT es dotar de electrónica a cualquier objeto cotidiano y permitir su conexión a Internet, para cumplir este objetivo es necesario una tecnología capaz de mantener la conexión sin importar el lugar. Es aquí donde las tecnologías inalámbricas son la clave fundamental para que cosas u objetos inteligentes puedan comunicarse entre ellos y hacia el Internet, convirtiendo a las Redes de Sensores Inalámbricos en la base del desarrollo de IoT.

Su acogida es debido principalmente a:

- Popularización de placas de hardware libre
- Abaratamiento de sensores
- Plataformas de IoT

### ***1.1.1 Elementos básicos de IoT***

Desde un punto de vista estructural la evolución de IoT no habría podido llevarse a cabo sin la concurrencia de tres áreas concretas, que han permitido el desarrollo continuo de cada una de las aplicaciones desarrolladas para plataformas IoT.

#### ***1.1.1.1 Hardware***

Los dispositivos fabricados en los inicios de la electrónica ocupaban espacios excesivamente grandes para la función que desempeñaban, en la actualidad la tendencia de la miniaturización de componentes electrónicos ha permitido fabricar dispositivos de tamaño reducido con capacidades similares e incluso superiores a la de una computadora personal.

#### *1.1.1.2 Infraestructura*

La demanda creciente de puntos de acceso hacia Internet y el número de dispositivos que requieren dicha conexión, obligan el desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren la gestión de recursos, en este caso el espacio radioeléctrico, para eliminar la saturación de infraestructuras inalámbricas sin degradar el servicio que presta, o buscar alternativas de conexión que mejoren el rendimiento como son la red WI-FI, la red de telefonía móvil e incluso la conexión de fibra óptica que al trabajar en conjunto pueden solventar las limitaciones que presenten cada una de ellas individualmente.

#### *1.1.1.3 Software*

El hardware por sí solo no es capaz de hacer uso de la información generada a partir del IoT, es necesario contar con algoritmos y aplicaciones correctamente diseñadas que permitan interpretar la información recopilada de los dispositivos del IoT y tomar decisiones cuando sea necesario sin la interacción con el ser humano, he ahí la inteligencia de IoT y quizá el componente principal.

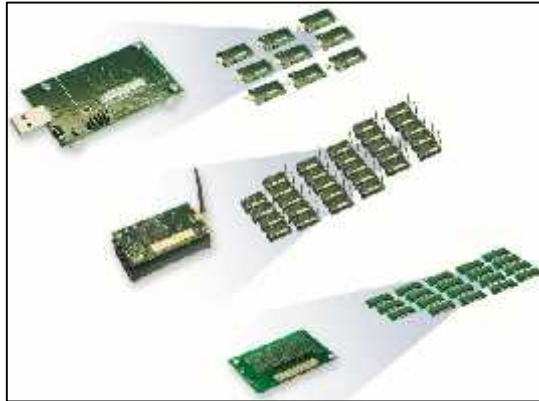
### ***1.1.2 Tecnologías para desarrollo de IoT***

El objetivo principal de IoT es mantener conectados la mayor cantidad de objetos hacia la red y entre ellos, para lo cual es necesario contar con tecnologías que nos permitan llevar a cabo esta interconectividad, partiendo con las características que deben cumplir los diferentes dispositivos, como puede ser tamaño, peso, periféricos; e incluso el medio por el cual se van a comunicar entre ellos.

#### *1.1.2.1 Plataforma*

Actualmente en el mercado la mayor parte de las industrias desarrollan plataformas enfocadas al IoT, gracias a los avances tecnológicos es posible diseñar equipos de reducido tamaño con capacidades de procesamiento limitadas pero suficientes para cumplir con el objetivo de IoT.

Existen empresas dedicadas únicamente a generar dispositivos enfocados al IoT entre los que se encuentran MEMSIC, fabricante de MICAz y TelosB mostrada en la *Figura 1-3*, Libelium fabricante de Wasp mote, e Intel fabricante de Galileo y Edison, entre otros.



**Figura 1-3** Plataforma WSN propietaria MICAZ  
Fuente:(MEMSIC, 2016)

A pesar de estas empresas estar enfocadas exclusivamente en plataformas IoT, el alcance al público se puede ver un poco limitado, ya sea por el factor económico o porque en el mercado existen plataformas abiertas con gran soporte y respaldo por la comunidad como es el caso de RASPBERRY o ARDUINO, este último con su placa de desarrollo de mayor aceptación mostrada en la *Figura 1-4* que, si bien en un principio ambas plataformas no se encontraban enfocadas al IoT, han sabido adaptarse para el desarrollo de este tipo de proyectos.



**Figura 1-4** Plataforma Arduino  
Fuente:(Arduino, 2015)

#### 1.1.2.2 Sensores

La plataforma por si sola se encarga únicamente del procesamiento de información, pero esta información es proveniente de dispositivos externos a la plataforma, denominados sensores. Estos dispositivos sensores están diseñados para capturar información de parámetros específicos del entorno donde se encuentren.



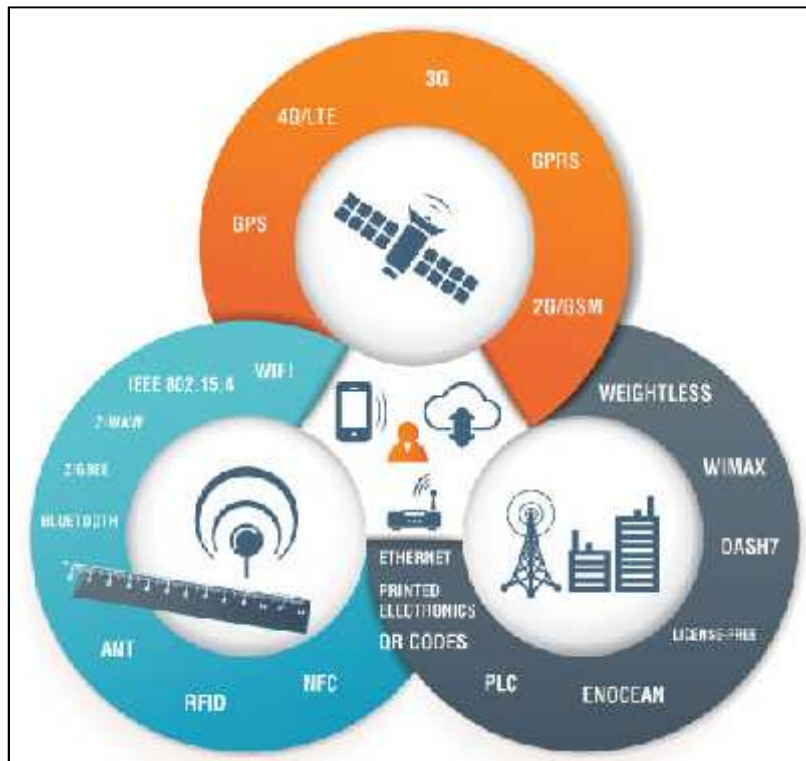
La electrónica actual ha permitido abaratar los costos de fabricación de cada uno de estos sensores, permitiendo encontrar un amplio catálogo de estos accesorios para cualquiera que sea nuestro requerimiento a un precio accesible, como los mostrados en la *Figura 1-5*.



**Figura 1-5** Sensores disponibles para plataformas IoT  
Fuente:(AliExpress, 2015)

#### 1.1.2.3 Medio de comunicación

Las tecnologías mencionadas en el apartado anterior permiten obtener información del entorno y procesarla de manera limitada, pero si existiese la necesidad de un procesamiento exhaustivo o mucho más rápido es necesario transportar la información recolectada a un equipo con características superiores. Aquí juega un papel importante el canal de comunicación ya que debe ser acorde a las características de la plataforma en uso, existiendo en la actualidad diferentes tecnologías, mostradas en la *Figura 1-6*, que pueden ser utilizadas con este objetivo.



**Figura 1-6**Medios de Comunicación utilizado por IoT

Fuente:(Potscales, 2013)

Puede utilizarse medios de comunicación tradicionales como el cable vía Ethernet, pero al tener como base del IoT tecnologías inalámbricas la tendencia es utilizar protocolos inalámbricos que al mismo tiempo posean un bajo consumo energético; para lo cual se han desarrollado tecnologías como Zigbee, 6LowPan o Bluetooth 4.0 que permiten extender el tiempo de operación de cada una de las plataformas.

### 1.1.3 Aplicaciones

El campo de aplicación del IoT en la actualidad no se encuentra limitado a ninguna área en específico, llegando a implementarse en los aspectos más básicos de la vida diaria empezando en los hogares de cada una de las personas hasta llegar a infraestructuras críticas desplegadas en las ciudades más importantes.

Entre las áreas que han tenido más impacto el desarrollo de IoT tenemos:

#### 1.1.3.1 Industria

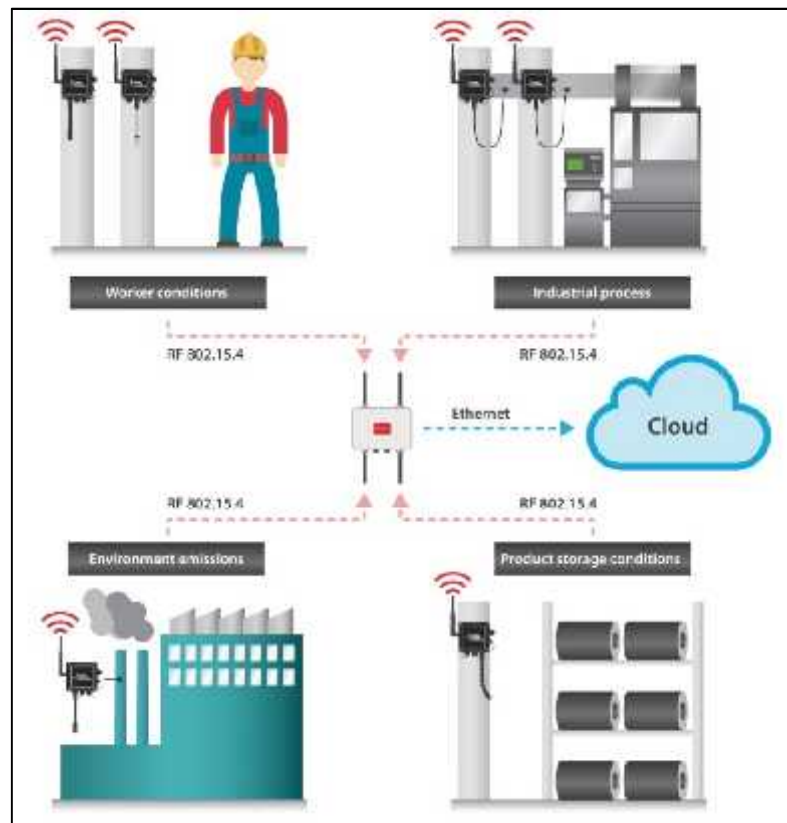
El área industrial es el sector donde más aplicaciones existen en la actualidad, debido a que es de vital importancia estar informados en cada momento del estado de los procesos que suceden a su alrededor, aportando información que antes pasaba desapercibida o no existía los medios para

recolectarla. Permite mejorar los tiempos de producción, optimizar recursos, detectar futuros problemas antes que se presenten y no influir en la cadena de producción normal.

Algunos de los ejemplos destacables en la industria son:

### SMART FACTORY

Polibol es una empresa líder en el sector de embalaje flexible, cuenta con un sistema encargado de monitorear procesos críticos, a través de sensores encargados de monitorear la temperatura de aire alrededor de máquinas de impresión y tuberías, intensidad de luces y concentración de CO2 en el área de los trabajadores, como se aprecia en la *Figura 1-7*. Todo esto en tiempo real e integrando una conexión a internet para tener acceso de toda esta información en cualquier instante y en cualquier lugar (Libelium, 2015).



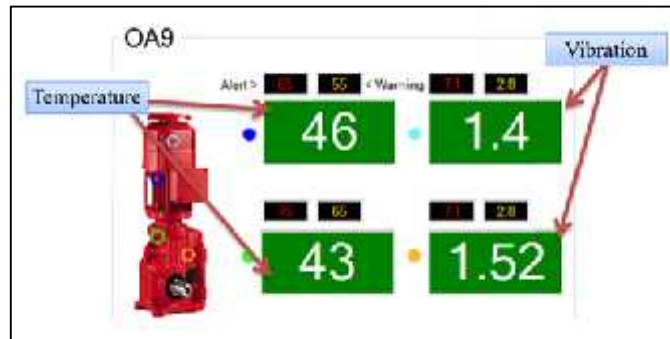
**Figura 1-7** Control de cuatro áreas críticas en Polibol

Fuente: (Libelium, 2015)

### M2M PARA CONTROLAR MOTORES INDUSTRIAL

Inblay Technology es una compañía que diseña, desarrolla e implementa sistemas de mejoramiento industrial. En 2012 creó una plataforma para supervisar motores industriales, capaz de monitorear temperatura y vibración en un motor industrial en tiempo real, alertando cuando se produzca una operación anormal, con una interfaz gráfica de administración mostrada

en la *Figura 1-8*. Toda esta información es almacenada en la nube e incluye en cada nodo un dispositivo GPS para localizarlo de manera más rápida en caso que sufra una avería (Libelium, 2015).



**Figura 1-8** Control visual de cada motor en Inblay  
Fuente: (Libelium, 2015)

### 1.1.3.2 Ciudades Inteligentes

El término Smart City es cada vez más común para toda la sociedad, ya que engloba toda la actividad diaria que realiza una persona como es encontrar un parqueadero disponible en la ciudad o un establecimiento, semaforización según las condiciones de tráfico en determinado momento, etc. Unas muestras de las aplicaciones desarrolladas en ciudades inteligentes son:

#### SMART PARKING

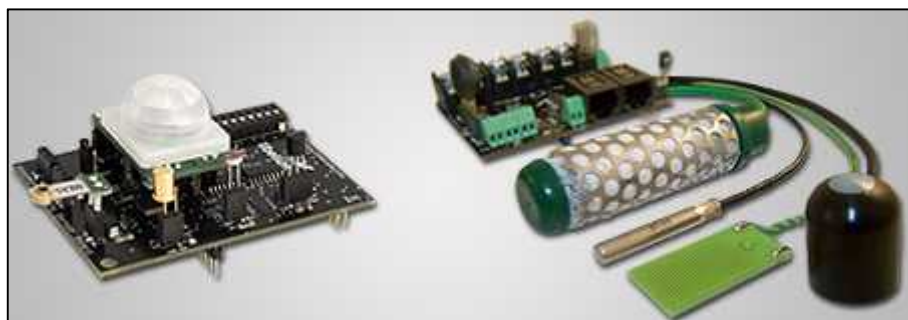
La ciudad de Santander, España cuenta con un sistema de sensores, actuadores, cámaras y pantallas, como la mostrada en la *Figura 1-9*, encargadas de entregar información a los ciudadanos de los espacios libres disponibles para parquear un automóvil en diferentes sectores de la ciudad (Libelium, 2015).



**Figura 1-9** Panel Visual de parqueaderos disponibles en Santander  
Fuente: (Libelium, 2015)

#### SMART WATER

Las inundaciones además de generar pérdidas económicas pueden generar pérdidas humanas, una manera de detectarlo oportunamente es el monitoreo de señales de inundación, monitoreando zonas que ya se han visto afectadas anteriormente, a través de diferentes nodos desplegados a lo largo del curso de un río para medir el incremento de los niveles de agua, utilizando placas como las mostradas en la *Figura1-10*, y generar una alerta cuando sea necesario para anticiparse al desastre y tomar las medidas necesarias (Libelium, 2015).



**Figura 1-10** Placa de sensores de control de eventos y agricultura  
Fuente:(Libelium, 2015)

### 1.1.3.3 Domótica

La automatización de actividades dentro del hogar se ha convertido en el sueño de toda persona, logrando simplificar la vida diaria y mejorando la calidad de vida. Principalmente se enfoca en mejorar la comodidad del ser humano y no tanto en optimizar recursos o mejorar procesos.

#### CONTROL TÉRMICO

Algo tan simple como regular la temperatura del sistema de climatización en el hogar es capaz de entrar al mundo del IoT, es así como NEST ofrece un termostato, mostrado en la *Figura 1-11*, capaz de aprender la actividad diaria en el hogar y mejorar el control de temperatura a través de predicciones del clima en tiempo real.



**Figura 1-11** Termostato Inteligente NEST  
Fuente: (nest, 2016)

#### ILUMINACIÓN

Philips cuenta entre su catálogo de productos a HUE, un sistema inalámbrico de iluminación capaz de adaptarse al ambiente para brindar la mejor iluminación. Puede ser controlado desde un dispositivo móvil y modificar parámetros como su intensidad, color, automatizar su encendido/apagado, control remoto desde cualquier sitio ya que cuenta con conexión a Internet, todas estas características en un dispositivo similar a una bombilla como se aprecia en la *Figura 1-12*.



**Figura 1-12** Luz Inalámbrica personal HUE  
Fuente: (Philips Lighting, 2015)

#### 1.1.3.4 Medio Ambiente

El cambio climático ha influido en gran cantidad de desastres naturales que se han producido en la actualidad, sumando las excesivas emisiones de gases producidas por industrias y ciudades han afectado principalmente la salud de los seres humanos. En la actualidad se han desarrollado aplicaciones del IoT que permiten medir todos estos factores ambientales que comprometen la salud de los seres humanos y brindan una ayuda para concientizar sobre los riesgos a los que se vive expuesto día a día.

#### TRANSPORTE PÚBLICO

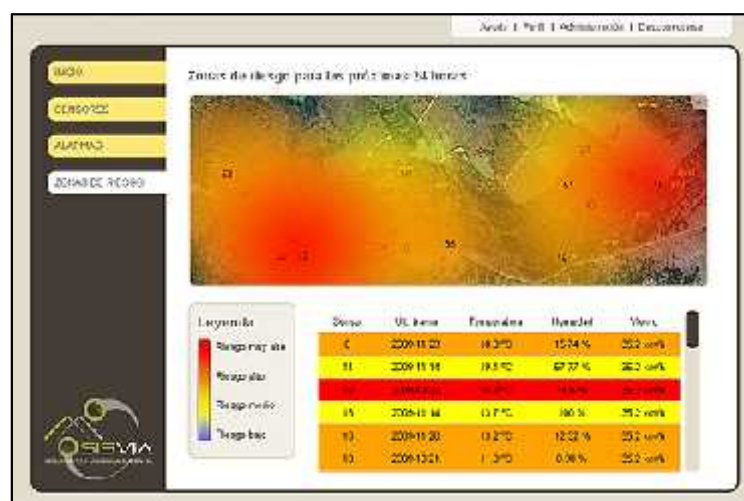
La iniciativa EkoBus implementada en Serbia hace uso del sistema de transporte público para medir diferentes parámetros ambientales en el recorrido que realizan los vehículos, incorporando el dispositivo sensor en la parte superior como se muestra en la *Figura1-13*, permitiendo obtener información adicional al usuario como el tiempo de llegada de un vehículo a la estación o ubicación del mismo.



**Figura 1-13** Dispositivo EkoBus en transporte público  
Fuente: (Libelium, 2015)



## INCENDIOS FORESTALES



**Figura 1-14** Página de Seguimiento Medioambiental

Fuente: (Libelium, 2015)

La región norte de España cuenta con un sistema de vigilancia y seguimiento ambiental mediante la interfaz Web mostrada en la *Figura 1-14*, capaz de detectar incendios forestales, a través de sensores capaces de medir humedad relativa, presión atmosférica y temperatura. Al superar el umbral aceptable por cualquiera de estos sensores, se envía una alerta a los bomberos para que presten una respuesta rápida, esta alerta contiene la ubicación exacta del sensor mejorando el tiempo de respuesta.

### **1.2 INICIATIVAS IOT EN ECUADOR**

Actualmente el término IoT no es muy conocido en el país como toda tendencia tecnológica, sin tomar en cuenta el impacto que generará en un futuro tanto en el día a día de las personas como el impacto económico que puede llegar a tener, convirtiéndose en un mercado rentable para las empresas que se enfoquen a esta tendencia.

Los proyectos de IoT en el país principalmente son desarrollados como proyectos de titulación en Universidades, cada uno de ellos enfocados a solucionar un problema de la vida diaria. Entre los ejemplos que se pueden mencionar tenemos “*Prototipo de Smart Parking*” desarrollado en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) y uno de los más representativos en el país por el impacto producido el “*Sistema de Monitoreo de Actividad Volcánica*” desarrollado en el Volcán Tungurahua por estudiantes extranjeros de la Universidad de Carolina del Norte y Harvard, en conjunto con la Escuela Politécnica Nacional y algunos docentes.



## PROTOTIPO DE SMART PARKING

Con el objetivo de solucionar los problemas existentes para encontrar plazas de estacionamiento se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica del Ejército este sistema capaz de detectar vehículos que se encuentren ocupando un espacio de estacionamiento, permitiendo al conductor tener un mapa del lugar indicando los espacios ocupados y disponibles, contribuyendo a solucionar problemas como el consumo excesivo de gasolina, emisiones de gases contaminantes por el parque automotor, nivel de ruido generado y tiempo desperdiciado.(Márquez, y otros, 2014).

El principio de funcionamiento del sistema está basado en un sensor ultrasónico capaz de detectar la proximidad de los objetos, la distancia que tomará en cuenta para determinar si un espacio de estacionamiento se encuentra libre u ocupado será muy corta.

## SISTEMA DE MONITOREO DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Los problemas ambientales provocados por el volcán Tungurahua han persistido por décadas en el país, afectando la salud de las personas en provincias cercanas y economía al influir en la producción agrícola. La necesidad de un medio para controlar la actividad del volcán Tungurahua permitieron el desarrollo de este sistema de monitoreo, iniciativa de estudiantes de Universidades extranjeras en busca de soluciones ambientales usando tendencias tecnológicas (Werner-Allen, y otros, 2004).

El sistema estaba encargado de monitorear información acústica y sísmica a través de 16 nodos sensores desplegados alrededor del volcán, que permiten obtener información en tiempo real de su actividad y anticiparse a cualquier comportamiento anormal que pudiera indicar una erupción volcánica permitiendo tomar medidas oportunas para evitar desastres de cualquier índole.

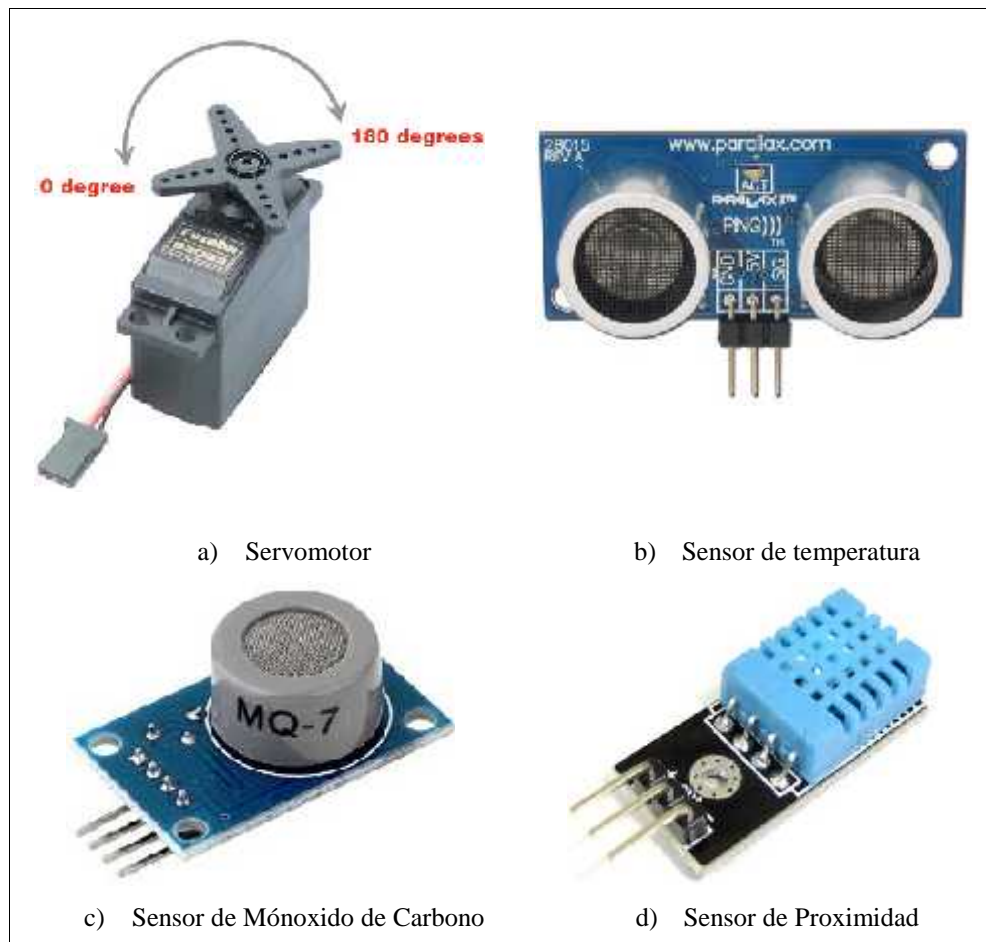
### **1.3 WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)**

Las tecnologías inalámbricas en los últimos años han tenido un rápido desarrollo, es así como ha evolucionado de los antiguos infrarrojos, que permitían comunicaciones punto a punto, a redes personales de corto alcance con Bluetooth, redes con mayor alcance a través de saltos con la ayuda de Zigbee, hasta desarrollar tecnologías con mayores prestaciones como son WiFi y WIMAX para redes que ofrecen una mayor cobertura. La ayuda de estas tecnologías inalámbricas y los avances en la fabricación de circuitos electrónicos han permitido la fabricación de dispositivos de tamaño reducido, bajo coste y consumo energéticoreducido con la capacidad de realizar tareas específicas y junto con ello permitir el desarrollo de las Redes de Sensores Inalámbricos (Carbajal Flores, 2012 pág. 2).

### 1.3.1 Definición

Una red de sensores inalámbricos es una red formada con pequeños dispositivos distribuidos geográficamente capaces de obtener información de su entorno con un mínimo de consumo energético, una vez recolectada la información requerida la transmite de manera inalámbrica a un nodo central para que pueda ser procesada y almacenada correctamente.

Para que cada uno de los nodos puedan recolectar información de su entorno es necesario que cuenten con sensores para medir los parámetros a controlar según la aplicación para la que sean diseñados como pueden ser controlar la temperatura de una habitación, medir la distancia a la que se encuentran ciertos objetos, medir la concentración de elementos contaminantes en el ambiente, etc.; existiendo en la actualidad una gran variedad de sensores fijos o móviles diseñados para este tipo de redes, tal como se muestra en la *Figura 1-15*.



**Figura 1-15** Sensores para plataformas IoT

Fuente: Elaboración Propia

Al ser una tecnología madura el costo del equipo necesario para desplegar una WSN ha decrecido considerablemente permitiendo expandir su ámbito de aplicación desde áreas militares hasta la industria, comercio, ambiente, medicina, educación, domótica; caracterizados principalmente por su facilidad de despliegue

Este tipo de redes tiene la capacidad de auto-restauración, permitiendo encontrar un nuevo camino para encaminar un paquete hacia su destino aun cuando exista en su camino un nodo con avería, entregando una alta tasa de disponibilidad de la información recolectada por cada uno de los nodos que conforman la WSN. De igual manera son redes que no necesitan de intervención humana para su funcionamiento ya que son diseñadas para resolver un problema en específico.

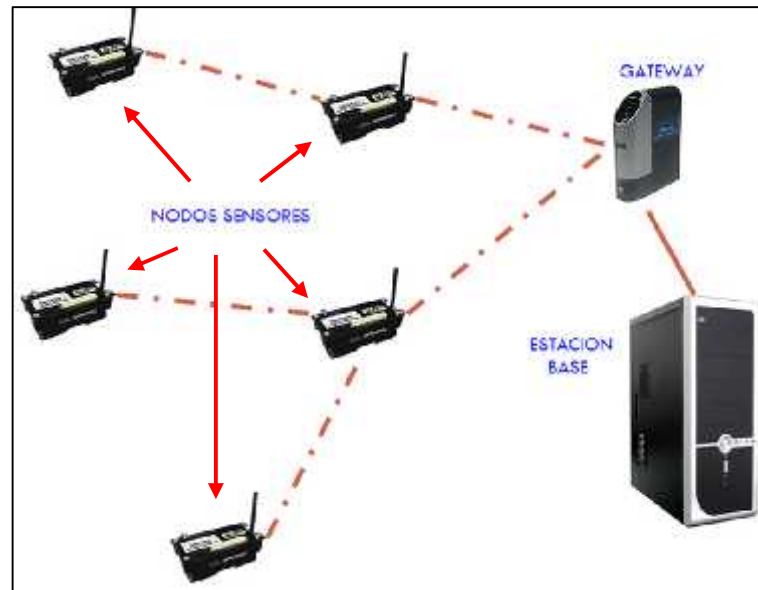
Las WSN son autónomas capaces de comunicarse entre sí para compartir información a través de redes ad-hoc sin ser necesario la existencia de un nodo central para lograrlo, además al ser desplegadas en lugares remotos de difícil acceso, la vida útil de su batería debe ser prolongada por lo que fueron diseñadas para conservar energía durante periodos de inactividad y de igual manera tener un bajo consumo energético en funcionamiento.

### ***1.3.2 Elementos de una WSN***

Una red de sensores inalámbricos está compuesta por un conjunto de dispositivos de pequeño tamaño con capacidades limitadas, tanto de procesamiento como de comunicación, cuyo tiempo de operación depende de la duración de una unidad de energía, generalmente una batería adjunto al dispositivo. Estos dispositivos se dispersan en el área a monitorear, en conjunto con diversos sensores que permiten tomar información del sitio en interés en forma de señales análogas, para luego procesarlas y transformarlas en digitales para transmitir las al dispositivo de salida, que se conectará a una estación con las capacidades necesarias para tratar la información recibida y almacenarla para futuro uso o procesamiento más exhaustivo (Fernández Martínez, y otros, 2013).

Dentro de una red WSN se puede distinguir los elementos mostrados en la *Figura 1-16*, que son:

- Nodo sensor
- Gateway
- Estación Base



**Figura 1-16** Elementos de una WSN  
Fuente: Elaboración Propia

#### 1.3.2.1 Nodo sensor

También denominados motas por su tamaño y su peso considerablemente liviano. Son unidades autónomas compuesta por una unidad de procesamiento, una fuente de energía, una unidad de radio transmisora-receptora y uno o varios elementos sensores, como muestra la *Figura 1-17*. Son los encargados de capturar la información del entorno en el que se encuentran, procesarla y transmitirla de manera inalámbrica hacia un destinatario.



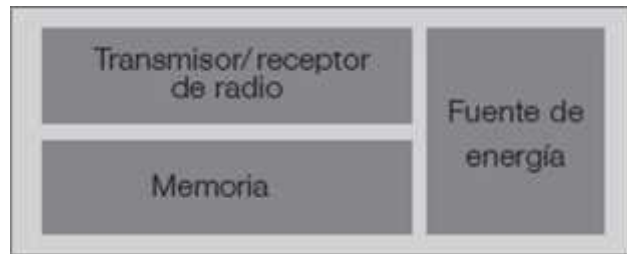
**Figura 1-17** Arquitectura de Nodo Sensor en una WSN  
Fuente:(Barcell, 2010)

Estos dispositivos están diseñados para ocupar un espacio muy reducido y tener un consumo mínimo de energía, en el orden de los miliamperios e incluso microamperios, permitiendo prolongar su vida útil sin la necesidad de un frecuente cambio de baterías.

#### 1.3.2.2 Gateway

Se pueden considerar un nodo sensor especial debido que cuenta con todos los elementos característicos de uno, como se muestra en la *Figura 1-18*, salvo la excepción que generalmente no cuenta con ningún tipo de sensor ya que es un dispositivo encargado de permitir la

interconexión entre la red de sensores inalámbricos y una red externa de diferente naturaleza, permitiendo acceder desde y hacia los nodos remotamente en infraestructuras que lo requieran. Para cumplir con esta funcionalidad es necesario el soporte de diferentes tipos de protocolos de comunicación.



**Figura 1-18** Arquitectura Gateway WSN

Fuente:(Barcell, 2010)

#### *1.3.2.3 Estación base*

Dispositivo encargado de recolectar los datos obtenidos a través de la red de sensores inalámbricos y procesarlas de mejor manera cuando sea necesario, ya que cuenta con capacidades superiores a las de una mota. Generalmente es una computadora con capacidad de almacenar la información recolectada en torno a una base de datos para posteriormente interpretarla y representarla de mejor manera al usuario final.

#### *1.3.3 Topologías de red*

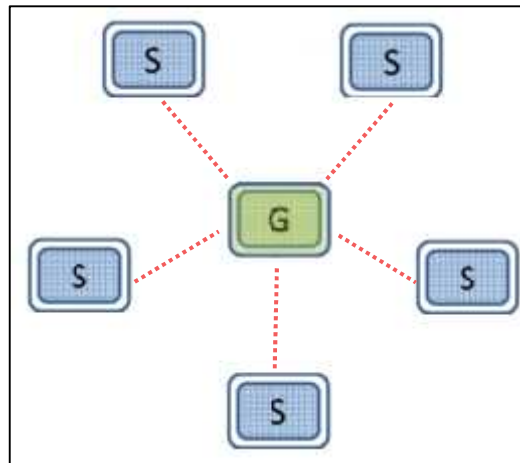
Existen diferentes topologías que pueden ser utilizadas para implementar una red de sensores inalámbricos según los requerimientos que se planteen, representa la manera como se organizan cada uno de los componentes que conforman una WSN y como se comunican entre ellos para transportar información, así cada una de ellas presenta sus ventajas y desventajas(Fernández Martínez, y otros, 2013).

Dependiendo la configuración y organización de los nodos se puede distinguir tres tipos de topologías:

- Estrella
- Malla
- Híbrida

#### 1.3.3.1 Topología en estrella

Topología donde cada nodo se encuentra conectado directamente al Gateway, por lo tanto, la información que cada uno de ellos transmite solo realiza un salto, como se aprecia en la *Figura 1-19*. Los nodos no son capaces de comunicarse directamente entre ellos, en caso de ser necesario deben realizarlo a través del Gateway. Este tipo de topología presenta el inconveniente de no poseer caminos alternos para enviar la información por lo que la información se pierde en caso que un nodo pierda comunicación con el Gateway, en contraposición es la topología que tiene un menor consumo de energía.(Fernández Martínez, y otros, 2013)

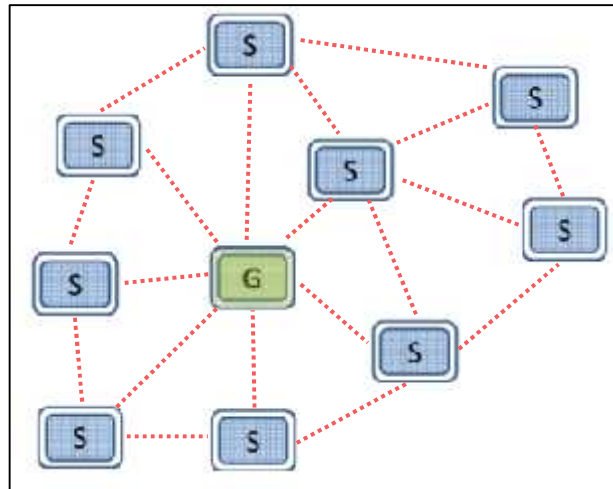


**Figura 1-19** Topología de Red Estrella

Fuente: Elaboración Propia

#### 1.3.3.2 Topología en malla

Cada nodo tiene la capacidad de conectarse a múltiples nodos cercanos, transmitir o recibir información de ellos y seleccionar el mejor camino para llevarla hacia su destino. Es posible la comunicación directa entre los diferentes nodos sin ser necesario un intermediario lo que permite implementar un gran número de nodos para cubrir amplias áreas, al presentar esta característica la hace altamente tolerable a fallos, siendo capaz de formar redes como la mostrada en *Figura 1-20*.(Carbajal Flores, 2012)

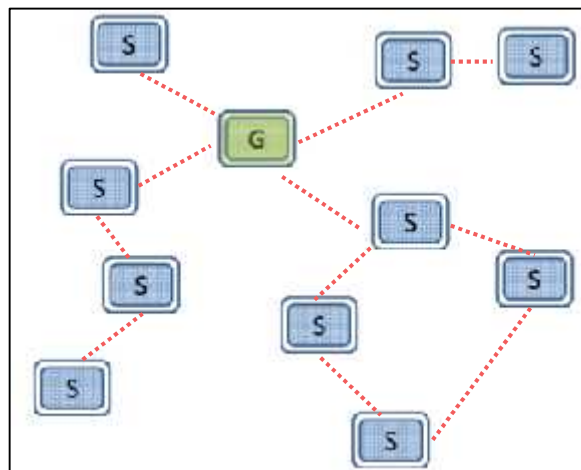


**Figura 1-20** Topología de red en Malla

Fuente: Elaboración Propia

### 1.3.3.3 Topología híbrida

Esta topología combina las mejores características tanto de la topología de estrella como de la topología en malla, como la mostrada en la *Figura 1-21*, permitiendo desplegar una red escalable y que presente un bajo consume de energía además de poder reorganizarse frente a fallos que pueda presentar alguno de los dispositivos de la red.(Fernández Martínez, y otros, 2013)



**Figura 1-21** Topología de Red Híbrida

Fuente: Elaboración Propia

### 1.3.4 Factores de diseño en una WSN

Para diseñar una red de sensores inalámbricos es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros que puede afectar en la elección del sistema a implementar cuando exista diferentes esquemas y propuestas tanto de hardware como software, convirtiéndose en una guía que permitirá realizar

la mejor elección que cumpla con los requerimientos establecidos. Entre los principales parámetros a tomar en cuenta en el diseño se encuentra:

### TOLERANCIA A FALLOS

Una red de sensores basa su funcionamiento en la información que es capaz de recolectar cada una de las motas desplegadas en un área específica, por lo tanto, si una de ellas llegara a presentar cualquier tipo de fallo sin importar el motivo, no deberá comprometer el funcionamiento del resto de la red.

### ESCALABILIDAD

El número de sensores necesarios para monitorear un espacio determinado puede variar dependiendo de la aplicación, pudiendo ser necesario cientos de ellos o incluso miles, todo esto sin influir en el desempeño de la red y permitiendo el incremento del número de nodos si fuese necesario en un futuro.(Carbajal Flores, 2012)

### COSTEY FACILIDAD DE INSTALACIÓN

El costo de cada nodo que conforma la red incluido los diferentes tipos de sensores debe tener un valor inferior que utilizar métodos tradicionales. Todo esto desde un punto de vista económico ya que no resultaría rentable utilizar una nueva tecnología que incurra un gasto mayor a la que se pueda estar utilizando. Siendo una realidad en la actualidad debido a la gran demanda de este tipo de dispositivos y sensores conllevando a una importante disminución tanto en el coste de producción como en el precio de venta al público.

Todo esto sin olvidar la facilidad de instalación de los diferentes sensores en un nodo, ya que en la mayoría de los casos de fábrica vienen previamente calibrados para poder empezar a utilizarlos.

### CONSUMO DE ENERGÍA / TIEMPO DE VIDA

El diseño de cada nodo es enfocado a cumplir una función específica, por lo tanto, el hardware que lleva en su interior tiene características limitadas que permiten realizar un consumo energético mínimo, extendiendo la vida útil de cada nodo debido a que utiliza en la mayor parte de los casos baterías como fuente de energía.

De manera que el tiempo de trabajo de un nodo está limitada a la vida útil de la batería, tomando en cuenta esta acotación es necesario utilizar o desarrollar tecnologías y protocolos que



tengan un bajoconsumo energético, ya que por ende se ve afectado el tiempo de vida útil del nodo en su totalidad.

## COBERTURA DE RED

Los nodos sensores son desplegados generalmente en áreas geográficas remotas donde las tecnologías tradicionales son poco prácticas para su utilización y las condiciones bajo las que van a trabajar no son las ideales para las que fueron diseñados.

### ***1.3.5 Aplicaciones***

La utilización de las redes de sensores inalámbricos no se limita a ningún campo en la actualidad, principalmente se debe a que su comunicación no depende de cables, pudiendo utilizarse en lugares nunca antes imaginados, además de no necesitar una inversión elevada para su despliegue y operación. Entre los campos más destacados en los que se emplea esta tecnología tenemos:

#### APLICACIONES MILITARES

En sus inicios las redes de sensores inalámbricos fueron desarrolladas para ambientes militares, lo que conllevó a la investigación de esta tecnología para permitir un conocimiento real del campo de batalla para la toma de decisiones. Su simplicidad y portabilidad permite ser usados en ambientes de conflicto en vehículos no tripulados, misiles, submarinos, aviones para aumentar sus capacidades, entre ellas la detección de obstáculos. Además, la pérdida de algunos de estos nodos en campo de batalla no influye en el funcionamiento de la red o una gran pérdida económica, como si lo fuese la no llegada de una comunicación importante a una base militar (Carbajal Flores, 2012).

#### APLICACIONES EN LA AGRICULTURA

Actualmente en el mercado existen una infinidad de sensores que pueden ser incorporados a los nodos para medir diferentes parámetros medioambientales que ayuden a mejorar la producción de un cultivo, permitiendo recolectar información importante para que el agricultor pueda tomar acciones si fuera necesarios, como puede ser el desperdicio de recursos como el agua.

Los parámetros más comunes a monitorear son: Cantidad de agua que necesitan las plantas, humedad del suelo, alarma por intrusión de animales, temperatura del área (Carbajal Flores, 2012).

#### APLICACIONES EN EL MEDIO AMBIENTE

Por lo costes reducidos de cada uno de los nodos, es posible distribuir gran cantidad de ellos dentro de un área geográfica para monitorear condiciones ambientales que puedan afectar al ganado, cultivo, medir la polución de aire, permitir detectar incendios, inundaciones, e incluso realizar investigaciones meteorológicas o geofísicas. Una muestra de ello es la red de sensores desplegadas para medir la actividad volcánica del Tungurahua que lleva operando varios años y permite monitorear su actividad y prevenir desastres en poblaciones aledañas.

### APLICACIONES EN LA DOMÓTICA

Comúnmente denominado casas inteligentes, indica la integración de diferentes tipos de servicios y tecnologías a hogares, convirtiendo la estancia en su interior mucho más agradable al ser humano. Las aplicaciones desarrolladas con este objetivo se enfocan en permitir que los aparatos domésticos puedan ser manejados y monitoreados remotamente, desde el bombillo de una lámpara hasta el horno en una cocina, añadiéndoles la característica que puedan aprender las costumbres del usuario final si este lo necesita o desea para mejorar la experiencia dentro una casa inteligente.

### APLICACIONES EN LA MEDICINA

Monitorear señales vitales de diversos pacientes y enviar dicha información hacia un hospital o un médico específico, puede mejorar el diagnóstico y pronta reacción en caso que un paciente sufra un accidente o sus señales vitales se vean comprometidas, principalmente en personas que requieran cuidados especiales y un seguimiento exhaustivo de su salud como es el caso de los adultos mayores.

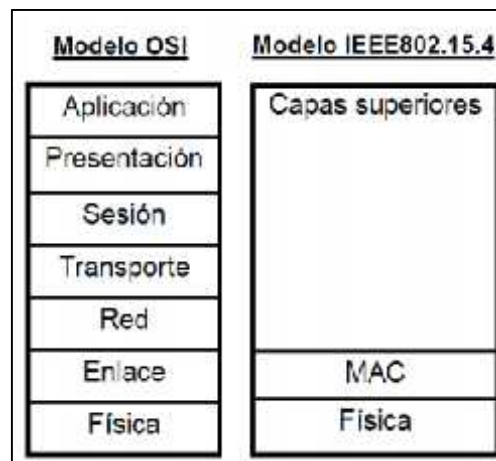
Los datos recogidos por cada uno de los sensores incluyen desde el número de latidos del corazón, hasta nivel de oxígeno en la sangre; esta información puede ser almacenada localmente en un dispositivo que posea el paciente en su domicilio o como se menciona en el apartado del inicio, teniendo en común la comunicación inalámbrica en ambos ámbitos.

### APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

El control de procesos industriales puede ser una tarea tediosa por las grandes maquinarias que se utilizan en este campo, o las partes diferentes partes móviles que se pueden encontrar en el proceso de producción. En este entorno el uso de este tipo de redes es más común que en los anteriores, debido a que se utilizaban en lugares donde los métodos cableados no pueden llegar, como es el caso de maquinaria en movimiento, datos de vibraciones de maquinaria que pueden indicar la existencia de un desgaste y la necesidad de realizar el mantenimiento correspondiente. (Fernández Martínez, y otros, 2013)

### 1.3.6 Estándar IEEE 802.15.4

Estándar de comunicación diseñado para operar en la banda libre ISM, para redes personales de bajo consumo de energía, especifica la capa física y acceso al medio del modelo OSI como se indica en la *Figura 1-22*, permitiendo comunicaciones de corto alcance. Fue específicamente diseñado para infraestructuras de red que presentan tasas de transmisión bajas junto un bajo consumo de energía, lo que lo convierte en el protocolo ideal para aplicativos IoT debido a que otros estándares inalámbricos como WiFi o Bluetooth no cumplen con dichos requerimientos (Bliznakoff del Valle, 2014 pág. 25).



**Figura 1-22** Relación capas IEEE 802.15.4 y modelo OSI

Fuente: Elaboración Propia

IEEE 802.15.4 es utilizado como base para otras especificaciones como Zigbee, fue diseñado para solventar la necesidad de estándares inalámbricos con baja tasa de transmisión para redes de sensores, debido a que los estándares existentes en esa época estaban enfocados en aplicaciones con requerimientos de ancho de banda muy superiores a los que eran necesarios para una WSN.

La eficiencia energética que presenta este estándar se basa en la sincronización de los nodos presentes en la red para permanecer la mayor parte del tiempo en modo de ahorro de energía, realizando un consumo de energía únicamente cuando sea necesario. El inconveniente que presenta debido a su bajo consumo de energía es el área de cobertura de cada uno de sus nodos, sus características principales se detallan en la *Tabla 1-1*.

**Tabla 1-1** Características estándar 802.15.4

Característica	802.15.4		
Frecuencia de trabajo	868 Mhz	915 Mhz	2.4 Ghz
Velocidad	20 Kbps	40 Kbps	250 Kbps
Número de canales	11		16
Memoria necesaria	4 KB - 32 KB		
Latencia	Debajo 30 ms		
Tamaño de red	65 535 nodos		
Cobertura	1 - 100 metros		
Característica	Bajo costo, bajo consumo		

Fuente: Realización Propia

#### 1.3.6.1 Capa física

Es la capa más básica encargada de proporcionar el servicio de transmisión de datos bit a bit sobre el medio físico, los datos que se envían son generados en las capas superiores, como sucede en el modelo OSI, y se van empaquetando a medida que descienden por cada una de las capas.

Al tratarse del medio físico se encarga principalmente de:

- Controlar el transceptor de radiofrecuencia.
- Receptar y transmitir paquetes bit a bit.
- Seleccionar y asignar canales.
- Controlar el consumo de energía y la intensidad de señal de radio.

Ofrece dos diferentes opciones de capa física, siendo similares con la única diferencia en su frecuencia de operación. Existe la opción que opera a 2.4 GHz operando en la banda ISM, dedicada para la industria, ciencia y medicina; por otra parte, la opción de 868/915 MHz permite disminuir las interferencias y pérdidas que suelen suceder al trabajar en la banda de 2.4 GHz debido a la gran cantidad de dispositivos operando en este rango (Burbano García, 2014 pág. 15). Las principales características de cada una de las opciones de capa física se detallan en la *Tabla 1-2*.

**Tabla 1-2** Características Físicas Estándar IEEE 802.15.4

<b>FRECUENCIA</b>	<b>2.4 Ghz</b>	<b>915 Mhz</b>	<b>868 Mhz</b>
Rango de frecuencias	2.4 – 2.4835	902 – 928 MHz	868 – 868.6 MHz
Tasa de bit	250 kbps	40 kbps	20 kbps
Número de canales	16	10	1
Modulación	O – QPSK	BPSK	BPSK
Sensibilidad del Receptor	-85 dBm	-92 dBm	-92 dBm

Fuente:(National Instruments, 2016)

#### *1.3.6.2 Capa de enlace de datos*

Capa encargada de proporcionar una interfaz entre la capa física y la de red, permitiendo el envío y recepción de unidades de datos a través de la capa física. Proporciona mecanismo para que dispositivos puedan asociarse o desasociarse a la red, permite una comunicación fiable entre los nodos evitando colisiones entre mensajes y por lo tanto mejorando la eficiencia en la transmisión.(Burbano García, 2014 págs. 16,17)

Las funciones principales desarrolladas por esta capa son:

- Entrega segura e íntegra de mensajes
- Control de acceso a canales
- Garantiza manejo de ranuras de tiempo
- Conexión y desconexión de nodos a la red
- Manejo de señalización
- Validación de tramas
- Confirmación y entrega de tramas

#### *1.3.7 ZigBee*

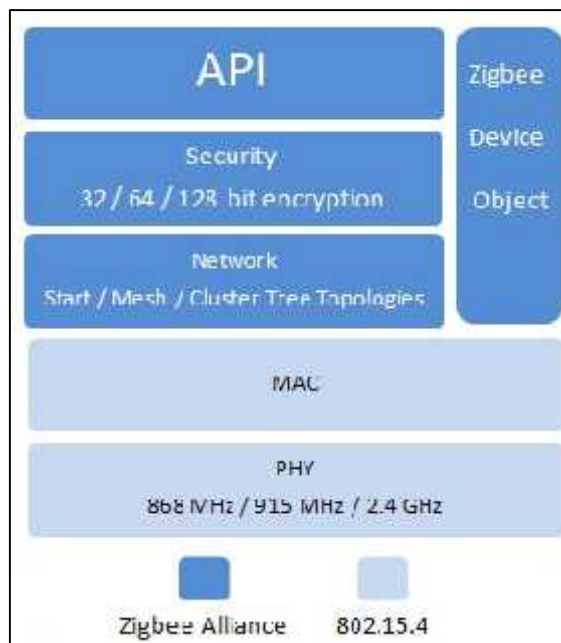
Zigbee es un estándar inalámbrico de bajo coste desarrollado por un conjunto de empresas, denominada Zigbee Alliance, en busca de una tecnología inalámbrica común para la administración de redes de sensores inalámbricos, cuyos dispositivos presentan necesidades de procesamiento bajas.

Las características principales son:

- Interoperabilidad con dispositivos de diferentes empresas.
- Instalación simple.
- Bajo costo de dispositivos.

- Uso de banda ISM libre de licencia.
- Bajo consumo energético.

Zigbee es el nombre comercial otorgada a la tecnología de red personal inalámbrica de corto alcance, por Zigbee Alliance y IEEE 802.15.4, siendo el estándar adoptado para el desarrollo de redes de sensores inalámbricos. Zigbee se basa en la capa física y capa de enlace de datos definidas en el estándar IEEE 802.15.4, mientras define capas superiores como son la capa de red y capa de aplicación, la distribución de las capas de Zigbee está representado en la *Figura 1-23*.



**Figura 1-23** Arquitectura estándar ZigBee  
Fuente: (National Instruments, 2016)

#### 1.3.7.1 Capa de red

Capa encargada de entregar correctamente datos generados en capas superiores al dispositivo destino en la red, a través de la asignación de direcciones únicas de 16 o 64 bits. Optimiza el consumo de energía al mantener el dispositivo en estado de reposo y activándolo únicamente al realizar una transmisión o recepción de información. (Loyola Pinos, y otros, 2015 pág. 24)

El objetivo principal de la capa de red es enrutar los paquetes desde el dispositivo origen hacia su destino, añadiendo métodos de seguridad para garantizar la entrega de los paquetes al dispositivo final. (Loyola Pinos, y otros, 2015 pág. 23)

Entre las operaciones realizadas en esta capa destacan:

- Brinda autenticación y confidencialidad en la transmisión.
- Asigna direcciones a dispositivos que se unan a la red.
- Soporta enrutamiento hacia direcciones broadcast, unicast y multicast.

#### 1.3.7.2 Capa de aplicación

La capa de aplicación es la interfaz directa entre el usuario final y el nodo Zigbee, Está formado por tres capas diferentes que son:

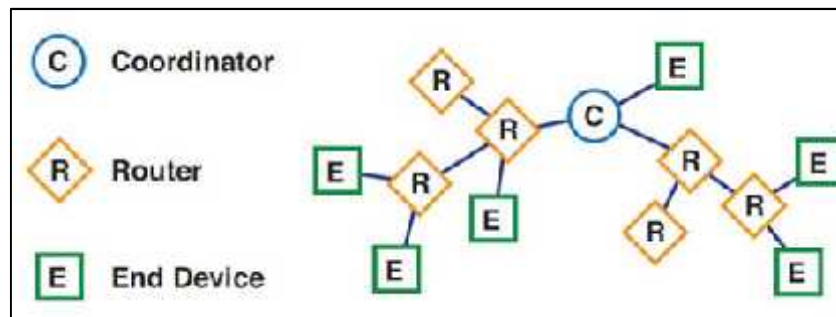
- Application Support (APS): Proporciona una interfaz entre la capa de aplicación y la capa de red, y permite comunicar dispositivos que presenten servicios y necesidades comunes.
- Zigbee Device Object (ZDO): Define el rol que va a cumplir un dispositivo en la red Zigbee, puede ser coordinador, router o nodo final.
- Application Object: Define las aplicaciones especificadas por cada fabricante a ser utilizadas por el dispositivo Zigbee.

### 1.4 DISPOSITIVOS ZIGBEE

Los dispositivos ZigBee son módulos de comunicación inalámbrica que utilizan el estándar Zigbee y por ende IEEE 802.15.4. Son dispositivos de reducido tamaño que operan en la banda ISM, permitiendo hacer uso de ellos en cualquier lugar del planeta sin ninguna restricción.

#### 1.4.1 Nodos ZigBee

El modo de operación de un módulo ZigBee dentro de una red implementada puede ser una de las denotadas en la *Figura 1-24*.



**Figura 1-24** Red ZigBee

Fuente:(Digi, 2016)



- Coordinador: Nodo con mayores capacidades respecto a los tres tipos de nodos existe únicamente un dispositivo operando en esta manera, además está encargado de establecer y gestionar la red
- Router: Nodos intermediarios en la comunicación entre un nodo final y coordinador, cuando no es posible la comunicación directa o es necesario extender la red.
- Nodo Final: Nodo encargado de recibir o transmitir información, generalmente sensores o dispositivos de bajo consumo.

#### 1.4.2 Módulos Xbee

Los módulos ZigBee con mayor acogida en el mercado son los módulos *XBee*, manufacturados por la empresa *Digi* que cuentan con un amplio catálogo de dispositivos enfocados al desarrollar aplicaciones de IoT, como el presentado en la *Figura 1-25*.

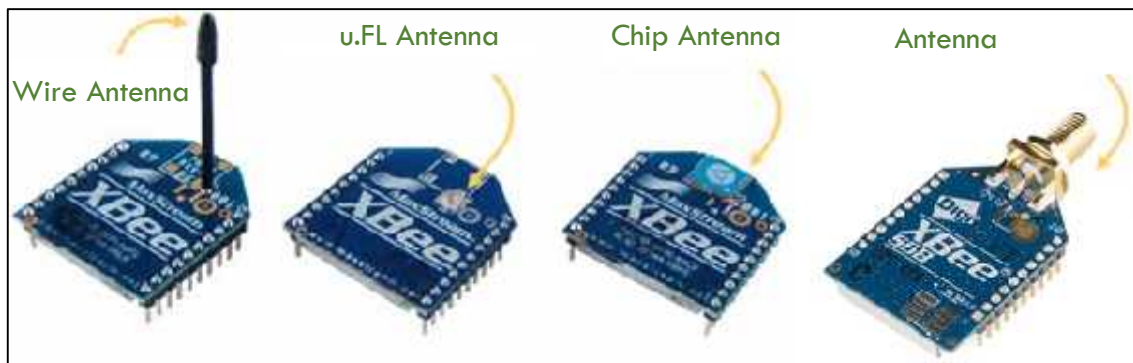


**Figura 1-25** Módulos Xbee

Fuente: (Digi International)

La característica principal en la que se diferencian los diferentes módulos es el tipo de antena que poseen, como muestra la *Figura 1-26*, pudiendo encontrarla de 4 formas:

- **Chip Antenna:** Consiste en un chip incorporado en el módulo que realiza las funciones de antena, permitiendo cubrir un área de 30 a 90 metros según la potencia de transmisión.
- **Wire Antenna:** Como su nombre lo menciona, es un pequeño cable que sobresale del módulo aumentando el alcance que puede llegar a tener hasta los 120 metros.
- **u.FL Antenna:** Módulo que posee un pequeño conector que permite conectar una antena externa para aumentar el alcance hasta los 1 500 metros.
- **RPSMA Antenna:** Conector de mayor tamaño que permite la conexión de una antena de mejores prestaciones logrando cubrir distancias de 10 Km siempre que exista línea de vista.



**Figura 1-26** Modelo de Antena Modulo Zigbee  
Fuente: Elaboración Propia

## 1.5 PLATAFORMA ARDUINO

Arduino inicio su desarrollo en el Instituto IVREA, Italia en 2006, por estudiantes que buscaban plataformas de desarrollo que no fueren costosas como los microcontroladores que utilizaban en esa época. La premisa del proyecto fue desarrollar una plataforma de costo inferior a los 30 euros, transportable de código y hardware abierto.

Arduino rápidamente se convirtió en una plataforma de prototipado electrónico reconocida, que trabaja con un microcontrolador y un entorno de desarrollo con lenguaje de programación sencillo, pero con gran capacidad para desarrollar proyectos complejos. Su hardware de bajo costo permitió obtener la acogida con la que cuenta en la actualidad, respaldado con una gran comunidad que permite su apoyo y desarrollo. Tanto su diseño como distribución es libre permitiendo adquirir la placa completamente funcional, o para montarla a mano.

Su entorno de desarrollo, Arduino IDE, es completamente libre e incluye todos los controladores necesarios para utilizarlo con las diferentes variantes de dispositivos Arduino, el lenguaje de programación que utiliza es una implementación de *Wiring*.

### 1.5.1 Arduino UNO



**Figura 1-27** Arduino UNO  
Fuente:(Arduino, 2015)

La variante de Arduino de mayor acogida por su precio asequible y ser un dispositivo de reducido tamaño es el Arduino UNO, mostrado en la *Figura 1-27*. Cumple con los requerimientos necesarios para desarrollar una aplicación de complejidad media incorporando un microcontrolador y toda la circuitería necesaria.

### ***1.5.2 Características Arduino UNO***

En el mercado es posible encontrar plataformas similares a Arduino para desarrollo de proyectos relacionados con microcontroladores que pueden variar en ciertas funcionalidades. Arduino destaca de otras plataformas por las siguientes características:

- Multiplataforma: Tanto el entorno de desarrollo Arduino IDE, como las variantes de Arduino funcionan bajo los diferentes sistemas operativos Windows, OSX y Linux (Arduino, 2016).
- Software y Hardware abierto: Arduino fue desarrollado desde sus inicios para que sea una plataforma abierta, es así que los diagramas de los dispositivos y código fuente se encuentran disponibles en su página oficial para quienes deseen colaborar en el desarrollo del proyecto (Arduino, 2016).
- Económico: El costo es un factor importante al momento de escoger una plataforma de desarrollo y con el amplio catálogo que cuenta Arduino cubre diferentes necesidades, todos ellos accesibles a diferentes precios cómodos (Arduino, 2016).
- Entorno de Desarrollo Sencillo: El funcionamiento radica en la sencillez de su programación, permitiendo a cualquier persona sin ningún tipo de conocimiento elaborar un proyecto, gracias a que su programación es muy intuitiva (Arduino, 2016).
- Interoperable: Presenta capacidad de operar con otros lenguajes de programación y aplicaciones conocidos debido a que maneja comunicación serial para transporte de datos soportada y utilizada por la gran mayoría de aplicaciones.

En lo que respecta a características de físicas del Arduino UNO, se encuentran detalladas en la *Tabla 1-3*, en ciertos casos pueden parecer limitadas sin embargo para la mayor parte de proyectos de IoT llegan a ser suficientes.

**Tabla 1-3** Características Arduino UNO

Característica	ARDUINO UNO
Dimensiones	68.6 mm x 53.4 mm
Microcontrolador	ATmega1281
Voltaje de Operación	7 V – 12 V
ADC	10 bits
Velocidad de Reloj	16 MHz
EEPROM	1 KB
Almacenamiento Flash	32 KB
I/O Analógicas	6
I/O Digitales	14
Puertos	USB Type B 1 UART

Fuente:(Arduino, 2015)

Cabe destacar que tanto hardware como software son libres encontrándose disponibles al público, permitiendo encontrar toda la documentación necesaria para realizar la construcción de la placa, además de contar con una gran comunidad que brinda soporte. Las ventajas y desventajas que presenta el Arduino UNO se muestran la *Tabla 1-4*.

**Tabla 1-4** Ventajas y Desventajas Arduino Uno

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo económico</li> <li>• Tamaño reducido</li> <li>• Amplio rango de voltaje de operación</li> <li>• Listo para usar</li> <li>• Programación sencilla</li> <li>• Variedad de shields y accesorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesamiento limitado</li> <li>• Dispositivos de almacenamiento no incorporado</li> <li>• Ningún sensor integrado</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## 1.6 PLATAFORMA INTEL



**Figura 1-28** Intel Galileo Gen 1

Fuente:(Intel, 2015)

El impacto que ha generado IoT a nivel mundial ha impulsado a grandes empresas a desarrollar nuevas plataformas que sigan esta tendencia. Una muestra de ello es la compañía Intel que ingresó al mundo del Internet of Things con su primera placa de desarrollo, presentando una nueva plataforma como alternativa a las ya conocidas para el desarrollo de proyectos de IoT.

### 1.6.1 Características Intel Galileo

Las generaciones del Intel Galileo pueden parecer muy similares, las variaciones a nivel de hardware en cierta manera pueden pasar desapercibidas, la *Tabla 1-5* muestra las principales características de cada una de las versiones del Intel Galileo a detalle.

**Tabla 1-5** Características Intel Galileo Gen1 y Gen 2

Característica	Intel Galileo Gen 1	Intel Galileo Gen 2
Dimensiones	100 mm x 70 mm	123.8 mm x 72.0 mm
Microcontrolador	SoC Quark X1000	
Velocidad de Reloj	400 Mhz	
EEPROM	11 KB	8 KB
Almacenamiento Flash	8 MB	
RAM	256 MB	
Alimentación	5 V	7 – 15 V
Entradas Analógicas	6	
I/O Digitales	14	
Voltaje de operación	3.3 V / 5 V	
Puertos	10 / 100 Ethernet RJ45	10 / 100 Ethernet RJ45 (PoE)

	MicroSD slot USB 2.0 x2 (micro-USB) Express mini-card slot JTAG header	MicroSD slot USB 2.0 (standard) USB 2.0 (micro-USB) Express mini-card slot JTAG header
--	---	--

Fuente: Elaboración Propia

A pesar de ser una plataforma relativamente nueva, ya en la práctica puede presentar ciertas ventajas y desventajas, detalladas en la *Tabla 1-6*, que pueden influir al momento de seleccionar una plataforma para desarrollar un proyecto de IoT.

**Tabla 1-6** Ventajas y Desventajas Intel Galileo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesamiento superior</li> <li>• Mayor rango de detección del ADC</li> <li>• Puerto Ethernet incorporado</li> <li>• Puerto USB para periféricos</li> <li>• Capacidad de correr Linux ligero</li> <li>• Compatible con software y hardware de Arduino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño</li> <li>• Costo</li> <li>• Pierde programa al reinicio</li> <li>• MicroSD necesaria para almacenar programa</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## 1.7 PLATAFORMA LIBELIUM

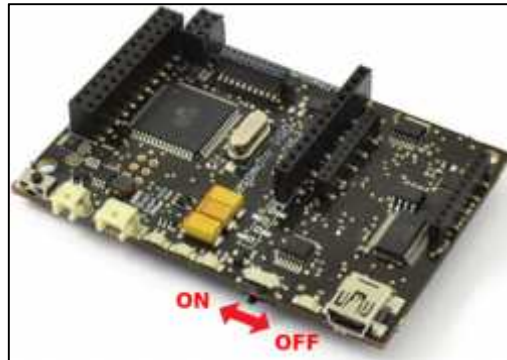
Libelium rápidamente se ha convertido en una empresa pionera en el mundo de IoT, desarrollando dispositivos enfocados principalmente con esta tendencia. El impacto generado en el mercado con sus dispositivos la han llevado a formar alianzas importantes para desarrollar proyectos con diferentes empresas como es el caso de Telefónica, donde se ha optado implementar de forma nativa la comunicación con su nube privada, o en conjunto con IBM para desarrollar un kit para acelerar e incentivar el desarrollo de aplicaciones del Internet de las Cosas.

El producto estrella para el desarrollo de proyectos de IoT es Waspote, una tarjeta de desarrollo con las capacidades necesarias para incorporar módulos de comunicación inalámbrica directamente sin necesidades de placas adaptadores, e incluso contando con sensores incorporados.

### 1.7.1 Waspote

Waspote fue desarrollado con la idea de brindar una plataforma básica, mostrada en la *Figura 1-30*, en la que se puede implementar diferentes tipos de sensores, con un máximo de 70 en

lugar de diseñar dispositivos enfocados en un mercado en particular (Emprendedores, 2015). Esta plataforma está compuesta por hardware y código abierto, caracterizándose por su robustez y capacidad de operar a largas distancias (Agenciasinc, 2013).



**Figura 1-29** Tarjeta waspmote  
Fuente:(Libelium, 2015)

#### 1.7.1.1 Características de waspmote

Waspote al igual que las demás plataformas cuenta con hardware específico para desarrollar aplicaciones del IoT presentando un procesamiento limitado, pero apto para dichas aplicaciones y un consumo de energía bajo. La *Tabla 1-7* muestra las características más importantes de esta plataforma.

**Tabla 1-7** Características de waspmote

Característica	Waspote
Dimensiones	73.5 mm x 51 mm
Microcontrolador	ATmega1281
Velocidad de Reloj	16 MHz
EEPROM	4 KB
Almacenamiento Flash	128 KB
Entradas Analógicas	7
I/O Digitales	8
Voltaje de Operación	3.3 V – 4.2 V
Puertos	Mini-USB slot-microSD 2 UART
Sensores Integrados	Temperatura Acelerómetro

Fuente: Elaboración propia

Al ser una plataforma diseñada específicamente para proyectos de IoT debería contar con más ventajas que otras plataformas, pero en la práctica esto no es posible cumplirlo, encontrando

inconvenientes mostradas en la *Tabla 1-8* que, si bien no son de hardware o software, pueden llegar a ser determinantes para desarrollar un proyecto bajo esta plataforma.

**Tabla 1-8** Ventajas y Desventajas Waspnote

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñado para desarrollo del IoT</li> <li>• Sensores incorporados</li> <li>• Almacenamiento extra con microSD</li> <li>• Compatible con sketches de Arduino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo</li> <li>• Pocos medios para adquirirla</li> <li>• Poca acogida en el mercado</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## 1.8 PLAN NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE

La gestión ambiental en Ecuador presenta grandes problemas e inconvenientes que permiten el continuo abuso del recurso aire, por la falta de seguimiento de convenios suscritos, una dispersión de jurisdicción, y principalmente una debilidad institucional y presupuestaria del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, 2012).

El Plan Nacional de Calidad del Aire fue desarrollado en cumplimiento con la Constitución del Ecuador donde establece que el encargado de proteger el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado es el Estado. (Ministerio del Ambiente, 2012)

Las entidades que se encontraban encargadas de la gestión ambiental, específicamente del aire, manejaban información muy poco confiable, ya que era dispersa y escasa. Para solventar este inconveniente el Plan Nacional de Calidad de Aire busca convertirse en un marco de referencia para la adecuada regulación, seguimiento, control y coordinación de los entes involucrados en la gestión del aire (Ministerio del Ambiente, 2012).

### 1.8.1 *Objetivos del Plan Nacional de Calidad del Aire*

#### 1.8.1.1 *Objetivo Principal*

El documento desarrollado por el Ministerio del Ambiente define como:

*“Objetivo principal del Plan Nacional de la Calidad del Aire alcanzar una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad de vida de la población ecuatoriana.”*(Ministerio del Ambiente, 2012)

#### 1.8.1.2 *Objetivos Específicos*

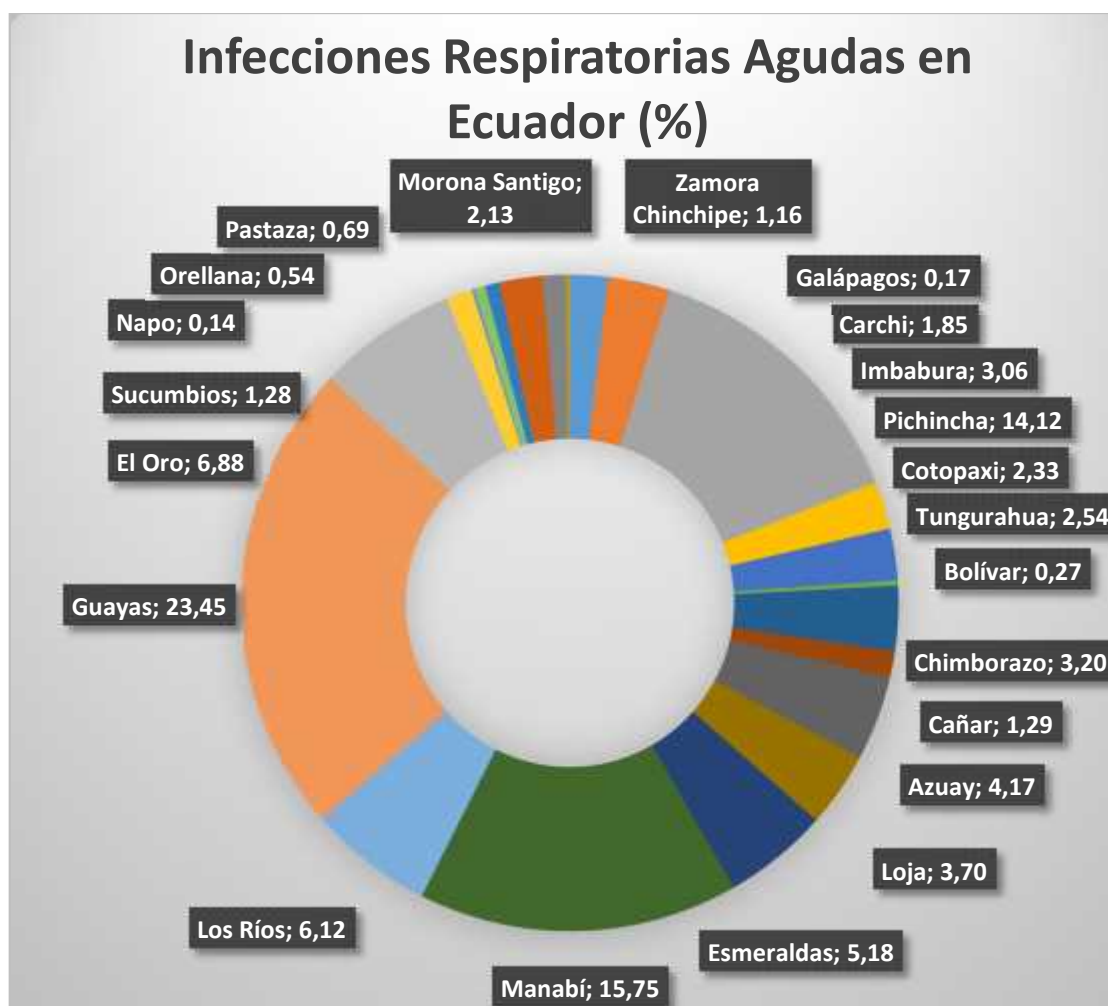


El Plan Nacional de Calidad de Aire establece ciertos objetivos específicos:

- Desarrollar una línea base de gestión del aire en el Ecuador para estructurar los lineamientos correspondientes al Plan Nacional de la Calidad del Aire.
- Implementar el Plan Nacional de Calidad del Aire sobre la base de las políticas y que traduzca las estrategias en acciones definidas para los diferentes aspectos de la gestión del recurso aire.
- Definir las acciones, metas, objetivos e indicadores sobre la base de la situación de análisis y evaluación de necesidades, tomando en cuenta la situación local o nacional.
- Mantener las concentraciones promedio anuales de contaminantes del aire bajo los estándares permisibles del año 2013 (Ministerio del Ambiente, 2012).

### ***1.8.2 Calidad de aire en el Ecuador***

Ecuador en la actualidad cuenta con pocas investigaciones relacionadas con los efectos que puede producir en la salud la contaminación del aire, de igual manera no se han realizado estudios de investigación médica que permitan establecer una relación entre las causas de la enfermedad y la influencia sobre el surgimiento de la misma (Ministerio del Ambiente, 2012).



**Figura 1-30** Infecciones respiratorias agudas en Ecuador

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2012)

Únicamente se cuenta con información recolectada de los casos registrados manteniendo en la sociedad una cultura reactiva en lo que respecta a enfermedades críticas. La *Figura 1-30* muestra la distribución de infecciones respiratorias agudas tales como faringitis, bronquitis, amigdalitis, etc.; distribuidas por provincias en el país.

La idea de contaminación del aire para la población se centra únicamente en los efectos que pueda producir en su salud, sin tomar en cuenta el impacto que genera en el desarrollo social y económico del país. La mayor parte de contaminación del aire en el país es generada por el transporte público y privado, seguido por las industrias, y terminando con los hogares y microempresas.

Ecuador cuenta como marco de referencia para la calidad de aire sus ciudades principales, exceptuando Guayaquil que no cuenta con una red de monitoreo capaz de monitorear y establecer la calidad de su aire; mientras que la ciudad de Quito cuenta desde 2004 con la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), creada por el Distrito Metropolitano de Quito, encargada de la operación de la Red Metropolitana de Monitoreo

Atmosférico, revisión técnica vehicular y desarrollo del índice Quiteño de Calidad del Aire (Ministerio del Ambiente, 2012).

De igual manera en Cuenca la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca (ETAPA), se encuentra encargada del monitoreo de aire en su ciudad, permitiendo obtener información comparativa del nivel de contaminación entre estas ciudades principales (Ministerio del Ambiente, 2012).

La ciudad de Riobamba en la actualidad no cuenta con ninguna institución pública o privada encargada de monitorear el aire ambiente, viéndose principalmente afectada por la contaminación generada por la gran cantidad de parque automotor que existe dentro de la ciudad.

### **1.8.3 Programas del Plan Nacional de Calidad de Aire**

El Plan Nacional de Calidad de Aire se encuentra dividido en tres programas, cada uno conformado por una serie proyectos, como se muestra en la *Tabla 1-9*.

**Tabla 1-9** Programas y Proyectos del Plan Nacional de Calidad de Aire

<b>Programas</b>	<b>Proyectos</b>
Programa 1 Control y vigilancia de la calidad de aire	Proyecto 1 Desarrollo del Inventario nacional de emisiones
	Proyecto 2 Sistema nacional de monitoreo y vigilancia de la calidad de aire
	Proyecto 3 Elaboración de un sistema de información de calidad del aire
	Proyecto 4 Implantación de un sistema de vigilancia epidemiológica de las enfermedades respiratorias generadas por contaminación del aire
	Proyecto 5 Modelos predictivos de calidad del aire
Programa 2 Mejoramiento de la calidad del aire y prevención de su deterioro	Proyecto 6 Competencias sobre la gestión del recurso aire
	Proyecto 7 Formación, capacitación e investigación en gestión de la calidad del aire integrados a las políticas nacionales de ciencia y tecnología
	Proyecto 8 Implementación del programa nacional de

	reducción de emisiones
	Proyecto 9 Producción de combustibles de mejor calidad para fuentes móviles y fijas
	Proyecto 10 Sistema nacional de revisión técnica vehicular
	Proyecto 11 Sistema de participación ciudadana en tema de calidad de aire
Programa 3 Medidas a ser aplicadas durante los estados de alerta	Proyecto 12 Implementación de planes de contingencia ante episodios críticos de contaminación del aire

Fuente:(Ministerio del Ambiente, 2012)

#### ***1.8.4 Norma de Calidad Aire Ambiente***

El Ministerio del Ambiente bajo el Acuerdo No 50 la define como:

*“Norma técnica dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio Nacional.”*(Ministerio del Ambiente, 2012)

Esta norma define como contaminantes del aire a cualquier sustancia o material emitida por el hombre o cualquier proceso natural hacia la atmósfera, afectando al hombre o al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2012). Establece como contaminantes del aire a:

- Partículas Sedimentables
- Material Particulado menor a 10 micrones (PM10)
- Material Particulado menor a 2,5 micrones (PM2.5)
- Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Ozono (O<sub>3</sub>)

#### 1.8.5 Concentraciones de Contaminantes Comunes en el Aire Ambiente

La Norma de Calidad de Aire Ambiente especifica concentraciones máximas permitidas para cada uno de los contaminantes establecidos, donde el Ministerio del Ambiente establecerá la frecuencia de revisión del cumplimiento de los valores descritos (Ministerio del Ambiente, 2012).

**Tabla 1-10** Concentración Máxima de Contaminantes del Aire

Contaminante	Concentración Máxima				Promedio aritmético Año
	1 hora	8 horas	24 horas	30 días	
Partículas Sedimentadas	-----	-----	-----	1 mg/cm <sup>2</sup>	-----
PM10	-----	-----	150 µg/m <sup>3</sup>	-----	50 µg/m <sup>3</sup>
PM2.5	-----	-----	65 µg/m <sup>3</sup>	-----	15 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	-----	-----	350 µg/m <sup>3</sup>	-----	80 µg/m <sup>3</sup>
CO	40 000 µg/m <sup>3</sup>	10 000 µg/m <sup>3</sup>	-----	-----	-----
NO <sub>2</sub>	-----	-----	150 µg/m <sup>3</sup>	-----	100 µg/m <sup>3</sup>
Ozono	160 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>	-----	-----	-----

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2012)

Los valores de concentración máxima de los contaminantes enumerados en la *Tabla 1-10* son determinados bajo condiciones de referencia de temperatura 25 °C y presión atmosférica 760 mmHg (Ministerio del Ambiente, 2012).

Los contaminantes del aire ambiente detallados en la *Tabla 1-10*, además de poseer niveles de concentración máximos permitidos, cuentan con niveles de referencia para determinar la calidad de aire a la que las personas se pueden encontrar expuestas, estos niveles se encuentran detallados en la *Tabla 1-11*.

**Tabla 1-11** Concentración de contaminantes criterio que define niveles de alerta, alarma y emergencia de calidad de aire

<b>CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO</b>	<b>ALERTA</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>ALARMA</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>EMERGENCIA</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Monóxido de Carbono</b> Concentración promedio en ocho horas	15 000	30 000	40 000
<b>Ozono</b> Concentración promedio en ocho horas	200	400	600
<b>Dióxido de Nitrógeno</b> Concentración promedio en una hora	1 000	2 000	3 000
<b>Dióxido de Azufre</b> Concentración promedio en veinticuatro horas	200	1 000	1 800
<b>Material particulado PM 10</b> Concentración en veinticuatro horas	250	400	500
<b>Material particulado PM 2.5</b> Concentración en veinticuatro horas	150	250	350

Fuente:(Ministerio del Ambiente, 2012)

## **2. CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo es una explicación de la estructura general de la red de sensores planteada y su funcionamiento, seleccionando las mejores opciones para su diseño e implementación con el fin de seleccionar la que mayores prestaciones entregue y una mejor relación costo beneficio.

En la actualidad la contaminación de aire exterior es considerada carcinógena para el ser humano en base a estudios realizados por la OMS en 2013, donde se determinó que las partículas existentes en el aire contaminado se encuentran relacionados con el incremento de número de casos de cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. Estimaciones realizadas en 2012 por la Organización Mundial de la Salud establecieron que la contaminación atmosférica en ciudades y zonas rurales provocan 3,7 millones de defunciones prematuras alrededor de todo el mundo (OMS, 2014).

El aire presente en la ciudad de Riobamba no posee ningún medio de regulación que permita determinar los niveles de contaminación presente en el ambiente, sin ningún tipo de control es evidente el excesivo nivel de contaminación que va a existir, principalmente generado por el sector de transporte, construcción, agricultura e incluso hogares; registrando un total de 31.764 casos de infecciones respiratorias agudas en la provincia de Chimborazo (Ministerio del Ambiente, 2012).

El proyecto plantea un esfuerzo para concienciar a la sociedad de los riesgos para la salud a los que se encuentra expuesta día a día, debido a que la mayor parte del tiempo la contaminación de aire pasa desapercibida por la costumbre que se ha adquirido a mantenerse expuestos durante largos periodos de tiempo y desde muy tempranas edades a este tipo de contaminación.

### **2.2 ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS**

#### **2.2.1 Plataformas**

Actualmente el mercado ofrece una amplia gama de equipos para desarrollar proyectos de IoT, donde resaltan algunas de ellas por su trayectoria, credibilidad, costo, características o simplemente por su desarrollo enfocado a los distintos campos aplicativos de IoT. De las plataformas existentes en el mercado que destacan, se han seleccionado tres para el presente trabajo de titulación, que son:

- Arduino UNO

- Intel Galileo
- Libelium Waspote

Cada una de ellas ocupa un lugar importante en el mundo del IoT por su capacidad para desarrollar proyectos en diferentes áreas, las placas mencionadas presentan ciertas características, detalladas en la *Tabla 2-1*.

**Tabla 2-1** Tabla comparativa plataformas IoT

Característica	Arduino UNO	Intel Galileo Gen 1	Waspote
Dimensiones	68.6 mm x 53.4 mm	100 mm x 70 mm	73.5 mm x 51 mm
Voltaje de Operación	7 – 12 V	5 V	5 V – 7 V
Voltaje de Ingreso	5 V	3.3 V / 5 V	0.5 V – 3.8 V
ADC	10 bits	12 bits	10 bits
Procesador	ATmega32U4	SoC Quark X1000	ATmega1281
Clock speed	16 MHz	400 MHz	16 MHz
Flash	32 KB	8 MB	128 KB
I/O Analógicos	6	6	7
I/O Digitales	14	14	8
Micro-SD built-in	No	Si	Si
Puerto Ethernet	No	Si	No
USB	x 1 (USB Type-B)	x 2 (microUSB)	x 1 (miniUSB)
Sensor Integrado	No	No	Temperatura Acelerómetro
Precio	~ 30\$	~ 90\$	~ 180\$

Fuente: Elaboración Propia

La base del desarrollo de IoT son las redes de sensores inalámbricos donde cada nodo que las conforma puede ser una de las plataformas que se describen en la *Tabla 2-1*, cada una de ellas se encuentra enfocada al cumplimiento de necesidades específicas presentando ciertas ventajas y desventajas al momento de desarrollar un proyecto con diferentes plataformas, sin obviar las que presentan individualmente.

## 2.2.2 Tecnología WSN

Contando con las plataformas en las que van a trabajar cada uno de los nodos, es necesario seleccionar la tecnología a utilizar para que exista comunicación dentro de la Red de Sensores Inalámbricos. Las alternativas existentes en el mundo de las WSN son ZigBee y 6LoWPan, siendo esta última relativamente nueva por lo que su alcance de mercado es bajo, debido a su



difícil adquisición y poca difusión que no han permitido reducir sus costos de producción, mientras que la primera se considera el estándar adoptado para el desarrollo de IoT.

La tecnología seleccionada para el proyecto en desarrollo es Zigbee, por ser una tecnología madura y contar con todas las características necesarias para el desarrollo de aplicaciones de IoT, sin dejar de lado los inconvenientes que puede presentar. Para mejor comprensión se detallan las ventajas y desventajas en la *Tabla 2-2*.

**Tabla 2-2** Ventajas y Desventajas ZigBee

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opera en banda ISM</li> <li>• Hasta 65 535 nodos en la red</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Bajo consumo eléctrico</li> <li>• Diseño de red escalable</li> <li>• Soporta cifrado 28-bit AES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja tasa de transferencia</li> <li>• Menor cobertura a diferencia de tecnologías inalámbricas como WiFi ó WiMAX</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.3 Radios de comunicación

Los radios de comunicación ampliamente conocidos y que abarcan la mayor parte del mercado son los comercializados por la empresa Digi, ofreciendo un catálogo de diferentes modelos con características que se adaptan a las necesidades del proyecto en desarrollo. Digi ofrece dos tipos de módulos de radio, Serie 1 y Serie 2, la *Tabla 2-3* muestras las características de cada serie.

**Tabla 2-3** Características Xbee Serie 1 y Serie 2

Característica	Serie 1		Serie 2	
	Xbee	Xbee-PRO	Xbee	Xbee-PRO
Potencia Tx	0 dBm	10 dBm	5 dBm	18 dBm
Rango (LOS)	90 m	1.6 Km	1.2 Km	3.2 Km
Sensibilidad Receptor	-92 dBm	-100 dBm	-100 dBm	-101 dBm
Tasa de datos	250 Kbps		250 Kbps	
Frecuencia Operación	2.4 GHz 2.4000 - 2.4835 GHz		2.4 GHz 2.4000 - 2.4835 GHz	
Topologías	Punto-Punto Punto-Multipunto		Punto-Punto Punto-Multipunto	
Antenas	PCB		PCB	

	Chip U. FL RPSMA	Chip U.FL RPSMA
--	------------------------	-----------------------

Fuente:(Digi.com, 2015)

Tomando en cuenta los requerimientos del Sistema de Monitoreo de Polución de Aire los módulos de comunicación seleccionados son los Xbee PRO Serie 1, permitirán la correcta comunicación entre los diferentes nodos y su controlador tomando como parámetro fundamental para la elección la distancia existente entre cada uno de ellos. De igual manera los módulos de cada serie pueden incorporar un tipo de antena diferente según las necesidades, para el presente proyecto se utilizará un módulo Xbee con conector RPSMA junto una antena de 5dBi como muestra la *Figura 2-1*.



**Figura 2-1** Módulo Xbee PRO Serie 1 y Antena 5dbi

Fuente: Elaboración Propia

Para que el módulo ZigBee pueda acoplarse al nodo sensor es necesario contar con un Shield o Escudo, mostrado en la *Figura 2-2*, que permita la adecuada comunicación entre ambas partes, y por medio de este enviar todos los datos recolectados al nodo coordinador de la WSN.



**Figura 2-2** Xbee Shield

Fuente: (Clickplus, 2013)

En lo que respecta al nodo coordinador al estar conectado directamente a la estación base no es posible utilizar el Shield usado en los nodos sensores, para realizar la adecuada comunicación con la estación base es necesario utilizar el módulo mostrado en la *Figura 2-3* que cuenta con un puerto USB compatible con la estación base.



**Figura 2-3** Xbee Explorer USB Adapter  
Fuente:(Filipeflop, 2014)

## 2.3 SENSORES

### 2.3.1 Contaminantes a Medir

Cada nódulo de una WSN está conformado por la unidad de procesamiento, dispositivo transceptor y uno o varios dispositivos sensores. Estos últimos son los encargados de recolectar la información de su entorno, necesaria para que las demás partes puedan cumplir sus funciones.

De los contaminantes establecidos en el Plan Nacional de Calidad de Aire, detallados en la *Tabla 1-10*, se seleccionaron tres para su análisis en el presente trabajo de titulación que son monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y material particulado menor a 10 micras; debido al incremento de la afluencia de medios de transporte, aumento de contaminación industrial o por actividades agrícolas.

- Monóxido de Carbono: Gas incoloro, inodoro y tóxico producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles (Ministerio del Ambiente, 2012).
- Dióxido de Nitrógeno: Gas de color pardo rojizo, altamente tóxico, que se forma debido a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en vehículos y fábricas (Ministerio del Ambiente, 2012).
- Material Particulado menor a 10 micras: Material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera y un diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (Ministerio del Ambiente, 2012).

Cada nodo final va a contar con un sensor de cada contaminante seleccionado, incorporando tres fuentes de recolección de datos distintas. El tipo de sensor escogido para cada contaminante ha sido seleccionado principalmente por su precio asequible y difusión en el mercado.

#### 2.3.1.1 Sensor de Monóxido de Carbono



**Figura 2-4** Sensor MQ-7  
Fuente: Elaboración Propia

El sensor seleccionado para medir este contaminante es el MQ-7, mostrado en la *Figura 2-4*, viene incorporado con una placa para la alimentación y extracción directa de información. Este sensor se puede encontrar en el mercado a un precio de \$10. Las principales características se detallan en la *Tabla 2-4*.

**Tabla 2-4** Características MQ-7

Característica	Valor
Vcc	5 V $\pm$ 1 V
Temperatura de Trabajo	-20 °C a 50 °C
Voltaje de Pre calentamiento	5 V $\pm$ 1 V
Tiempo de Pre calentamiento	< 48 horas
Rango de Detección	20 ppm – 2 000 ppm

Fuente: (Sparkfun, 2002)

Un requisito previo para la utilización de este sensor es el pre calentamiento necesario durante 48 horas con su voltaje de alimentación, este proceso únicamente es necesario realizarlo previo la primera utilización. Para determinar la concentración de monóxido de carbono en el ambiente, el sensor entrega señales analógicas que deben ser convertidas a partículas por millón (ppm) utilizando la ecuación basada en su hoja de especificaciones, véase *Anexo 1*. (Mejía Quintero, 2012)

$$CO [ppm] = 10^{\frac{\log(17.5) - \log\left(\frac{RL}{Ro} \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}}\right)}{0.63}}$$

**Vcc** = Voltaje de Alimentación

**RL** = 10 K

**Ro** = 30 K

Los valores detallados anteriormente son tomados del datasheet del dispositivo, y en base a pruebas realizadas por (Mejía Quintero, 2012). Tomando en cuenta que:

$$V_{out} = \frac{A0 * V_{cc}}{1023}$$

**Vcc** = Voltaje de Alimentación

**A0** = Lectura del sensor

El Plan Nacional de Calidad de Aire toma sus valores de referencia en unidades de microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), con condiciones de referencia de 760 mmHg de presión atmosférica, correspondientes a 1 atm, y 25°C, correspondientes a 298.15 °K, por lo que es necesario convertir los valores censados a estas unidades para realizar una correcta comparación, mediante:

$$CO [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{M}{V} (CO [\text{ppm}] * 1000)$$

**M** = 28.01 (Masa molecular de una partícula de CO)

**V** = 24.45 (Volumen de un mol de gas a 25 °C y 1 atm.)

#### 2.3.1.2 Sensor de Partículas de Diámetro menor a 10 Micras (PM10)



**Figura 2-5** Sensor PPD42NS

Fuente: Elaboración Propia

El sensor encargado de realizar la medición será el PPD42NS, mostrado en la *Figura 2-5*, detecta partículas existentes en el aire inferiores a 10 micras, necesitando un tiempo de muestreo de 30 segundos establecido en su datasheet, véase *Anexo I*, durante el cual su salida digital tomará un valor de “0” los instantes que se detecte este tipo de partículas, luego es necesario realizar el cálculo apropiado y presentar los niveles detectados. En el mercado su precio se encuentra alrededor de \$25 y sus principales características se detallan en la *Tabla 2-5*.

**Tabla 2-5** Características PPD42NS

Característica	Valor
Vcc	5 V $\pm$ 10%
Temperatura de Trabajo	0 °C ~ 45 °C

Tiempo de Estabilización	1 minuto después de encendido
Rango de detección	0 ~ 8000 pcs / 0.01 cf
Salida de Datos	Salida Digital / “0” lógico

Fuente:(Shinyei, 2010)

Los valores resultantes en su salida digital serán transformados a niveles de concentración máxima por pie cúbico en base a su datasheet, en conjunto a la función obtenida por (Howmuchsnow, 2012) donde representa la función de la curva característica del sensor, que es:

**X** = Valor muestreado por el sensor

Se obtiene la cantidad de partículas totales por pie cúbico, para una correcta comparación con los valores del Plan Nacional de Calidad de Aire es necesario establecer las unidades en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para lo cual se utiliza la ecuación tomada de (Schroyer, 2014):

$$K = 3531.5$$

$$\text{DensidadPM10} = 1.65 * 10^{12}$$

$$\text{VolumenPM10} = 7.36 * 10^{-17}$$

Los valores de *K*, *DensidadPM10*, *VolumenPM10* son tomados en base a (Uva, y otros, 2009) que permiten determinar los valores de volumen y densidad de una partícula de PM10.

### 2.3.1.3 Sensor de Dióxido de Nitrógeno



**Figura 2-6** Sensor MICS-2714

Fuente: Elaboración Propia

El sensor seleccionado para realizar las mediciones correspondientes de dióxido de nitrógeno es el MICS-2714, mostrado en la *Figura 2-6*, reemplazo del discontinuado MICS-2710. Viene incorporado en una pequeña placa que permite una mejor conexión de sus pequeños pines de alimentación y medición, esta placa funciona como adaptador para hacerlo compatible con

conectores que fueron diseñados para su antecesor. En el mercado el precio de este sensor se encuentra alrededor de \$ 25, sus características principales se detallan en la *Tabla 2-6*.

**Tabla 2-6** Características MICS-2714

Característica	Valor
Voltaje de Calentamiento	1.7 V
Corriente de Calentamiento	26 mA
Temperatura de Trabajo	-30 °C a 85 °C
Tiempo de Respuesta	30 segundos
Rango de detección	0.05 ppm – 5 ppm
Resistencia Típica	2.2 K

Fuente:(e2v, 2009)

Los valores a entregar serán analógicos por lo que necesitarán una correcta transformación según corresponda en su datasheet, véase *Anexo 1*, donde se obtendrá la concentración del contaminante en partículas por millón (ppm) a partir de la curva característica mostrada en su datasheet y aplicando la ecuación tomada de (Mejía Quintero, 2012):

$$NO_2 [ppm] = 10^{\left(0.5442 * \log\left(\frac{RL}{Ro} * \frac{5-V_{out}}{V_{out}}\right)\right) - 1.6198}$$

**RL** = 820

**Ro** = 2.2 K

Los valores tanto de *RL* como de *Ro* son tomados del datasheet del dispositivo. Además, *Vout* corresponde al valor analógico entregado por el sensor, determinado por:

$$V_{out} = \frac{A1 * V_{cc}}{1023}$$

**A1** = Lectura de sensor

**Vcc** = Voltaje de Alimentación

De la misma manera que los contaminantes anteriores es necesario convertir las unidades de los valores obtenidos a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como se describe en el Plan Nacional de Calidad de aire, por medio de la siguiente ecuación:

$$NO_2 [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{46.01}{24.45} (NO_2 [ppm] * 1000)$$

**M** = 46.01 (Masa molecular de una partícula de CO)

**V** = 24.45 (Volumen de una mol de gas a 25 °C y 1 atm.)

## 2.4 FUENTE DE ENERGÍA

Para que cada nodo pueda trabajar es indispensable que incorpore una fuente de alimentación, tomando en cuenta que, al ser parte de una WSN es requisito que dicha fuente de alimentación sea portátil como las presentadas en la *Figura 2-7*. Bajo esta consideración la fuente de alimentación que incorporará cada nodo será una batería, mientras que el nodo gateway al ser el coordinador de la Red de Sensores Inalámbricos mantendrá una alimentación continua para que sea capaz de cumplir con sus funciones.



**Figura 2-7** Baterías Portátiles

Fuente: Elaboración Propia

## 2.5 CUBIERTA DE PROTECCIÓN

Tomando en cuenta que cada uno de los nodos se encontrarán a la intemperie, es necesario añadir una protección a los diferentes cambios climáticos que puedan existir. Por lo que una vez realizado las respectivas configuraciones y pruebas, tanto nodos sensores como gateway se incorporarán dentro de una caja PVC, como la mostrada en la *Figura 2-8*.



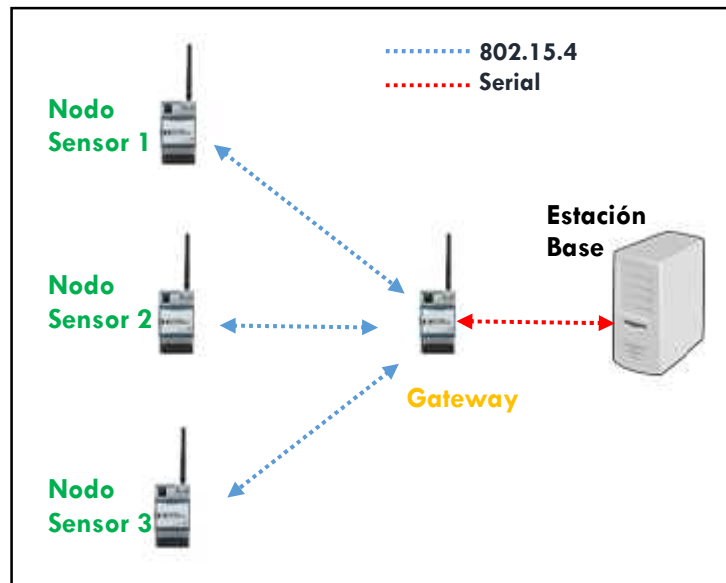
**Figura 2-8** Caja PVC Protectora

Fuente:(hama, 2005)

## 2.6 DISEÑO DE RED

### 2.6.1 Topología





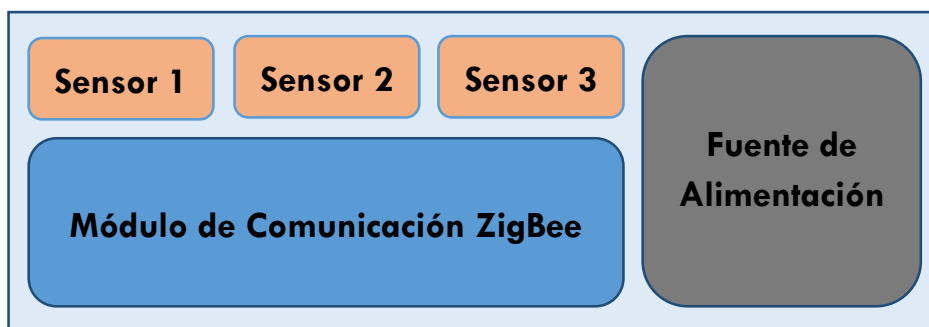
**Figura 2-9** Topología de Red Proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

La red va a estar formada por tres nodos sensores situados remotamente y un nodo controlador formando una topología estrella como se aprecia en la *Figura 2-9*, cada uno de ellos se va a comunicar con el coordinador inalámbricamente a través del estándar IEEE 802.15.4, a este nodo entregarán las mediciones realizadas cada cierto tiempo configurado por el administrador a través de una aplicación. El coordinador se encarga de recolectar los datos de los nodos y transmitirlos hacia la estación base para su almacenamiento y procesamiento, y posteriormente entregar al usuario final una interfaz web agradable encargada de presentar toda la información recolectada.

La estación base contará con todas las características necesarias para realizar las operaciones antes descritas, la comunicación gateway-estación base y estación base-gateway se realizarán de manera serial encontrándose el gateway conectado por puerto USB a la estación base emulando una comunicación serial, soportada por la gran mayoría de aplicaciones que la estación base es capaz de correr en su sistema.

### **2.6.2** *Nodos Sensores*

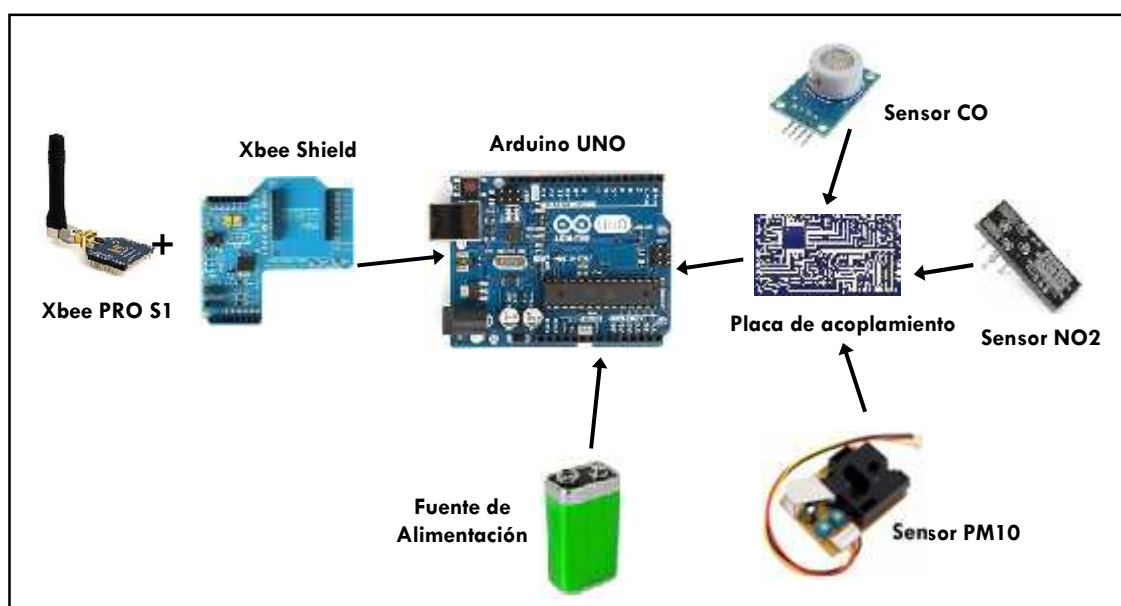
Cada nodo sensor contará con tres sensores diferentes cada uno de ellos capaz de medir un gas determinado. Además, incorporarán un módulo de comunicación ZigBee, medio por el cual se transmitirá toda la información recolectada por cada uno de los sensores del nodo hacia el gateway y por último tendrá una fuente de alimentación portátil, quedando conformado como indica la *Figura 2-10*. Los nodos implementados serán nodos finales que estarán bajo la supervisión del nodo coordinador.



**Figura 2-10** Nodos Sensores Proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

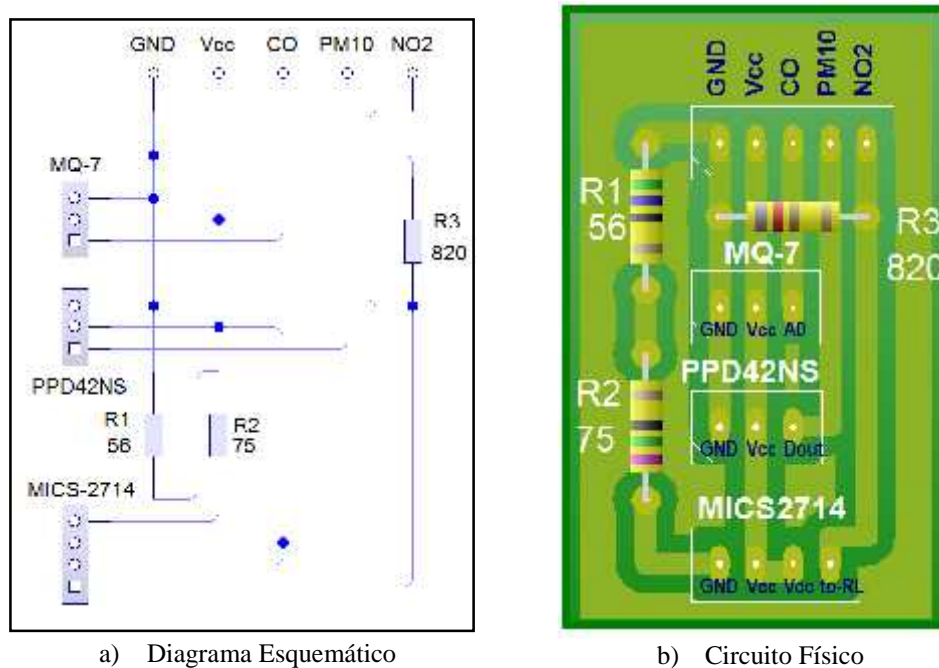
### 2.6.2.1 Nodo Arduino UNO

Este nodo operará con una placa de desarrollo Arduino UNO, conformada por los elementos mostrados en la *Figura 2-11* mencionados en el apartado anterior, además contará con una placa de acoplamiento para alimentar correctamente cada uno de los sensores y conectar los pines de medición de cada sensor con los pines correspondientes al Arduino UNO para su registro.



**Figura 2-11** Nodo Arduino UNO  
Fuente: Elaboración Propia

La placa de acoplamiento contará con el circuito adecuado para calentamiento y adecuada adquisición de datos del sensor de NO<sub>2</sub>, como se describe en su datasheet. Está formada por dos resistencias en serie que darán un equivalente de 131  $\Omega$  para obtener el voltaje adecuado de 1.7 V para el sensor, además para realizar la medición del contaminante en el ambiente es necesario que el sensor cuente con una resistencia de carga (RL), los sensores restantes tendrán una conexión directa con la plataforma de IoT a través de la placa de acoplamiento, el diagrama en la *Figura 2-12* muestra el esquema de la placa de acoplamiento.



**Figura 2-12** Placa de Acoplamiento Sensores

Fuente: Elaboración Propia

La placa en la *Figura 2-12* conectará cada uno de los sensores hacia el Arduino UNO a través del zócalo principal de 5 pines, con la distribución como muestra la *Tabla 2-7*.

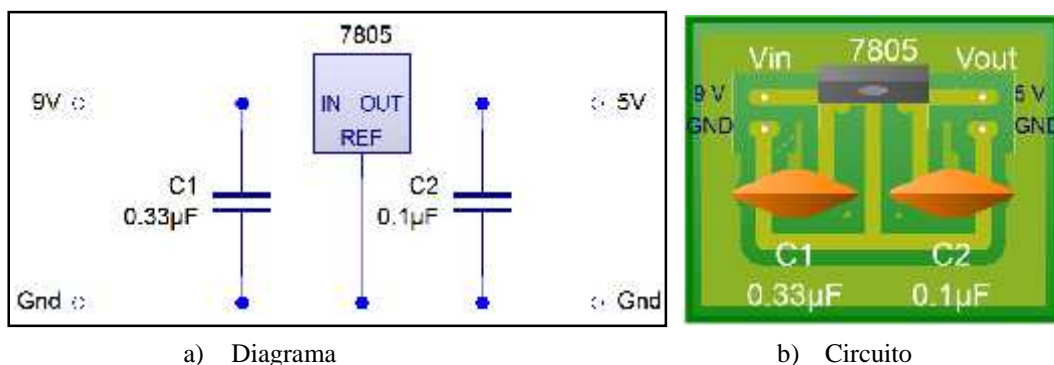
**Tabla 2-7** Correspondencia Pines Arduino UNO-Placa Acoplamiento

Arduino UNO	Placa Acoplamiento
5 V	Vcc
GND	GND
A4	CO
A5	NO2
7	PM10

Fuente: Elaboración Propia

### 2.6.2.2 Nodo Intel Galileo

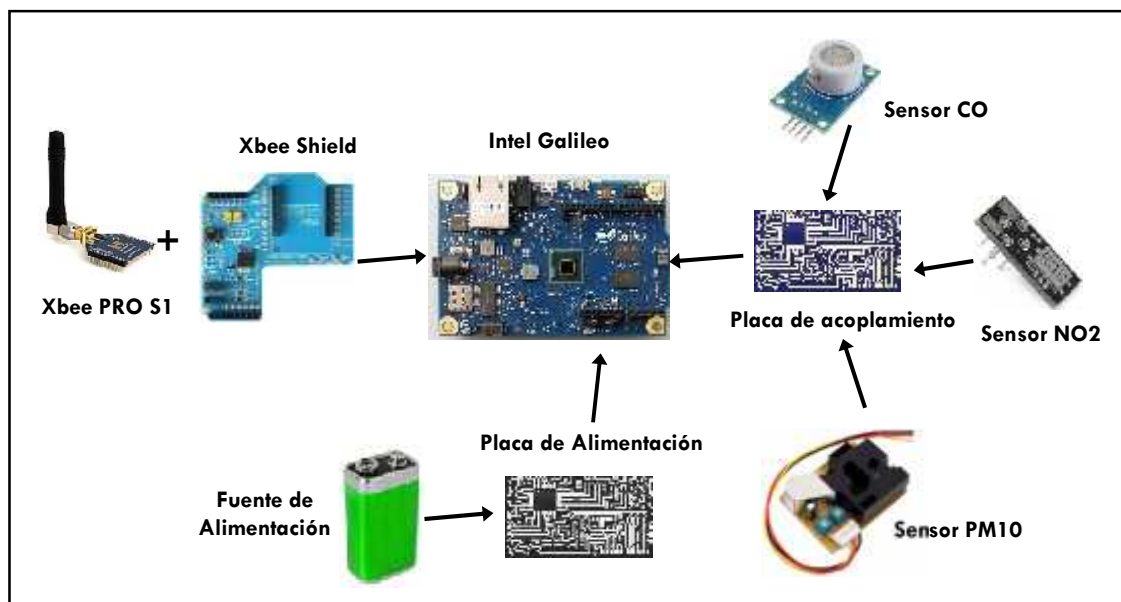
El nodo Intel Galileo estará conformado con los mismos elementos del nodo Arduino UNO, incluida la placa de acoplamiento de la *Figura 2-12*. Adicionalmente es necesaria una placa que permita el acople entre los 9 V de la fuente de alimentación con el voltaje especificado para la placa, necesitando 5 V fijos, la *Figura 2-13* muestra el esquema de la placa de acople de alimentación.



**Figura 2-13** Placa Acople de Alimentación

Fuente: Elaboración Propia

Tomado en cuenta la placa adicional para la correcta alimentación, el nodo sensor quedará conformado por los elementos mostrados en la *Figura 2-14*.



**Figura 2-14** Nodo Intel Galileo

Fuente: Elaboración Propia

La placa de acoplamiento, en la *Figura 2-12*, conectará cada uno de los sensores con el Intel Galileo a través del zócalo principal de 5 pines, con la distribución como muestra la *Tabla 2-8*.

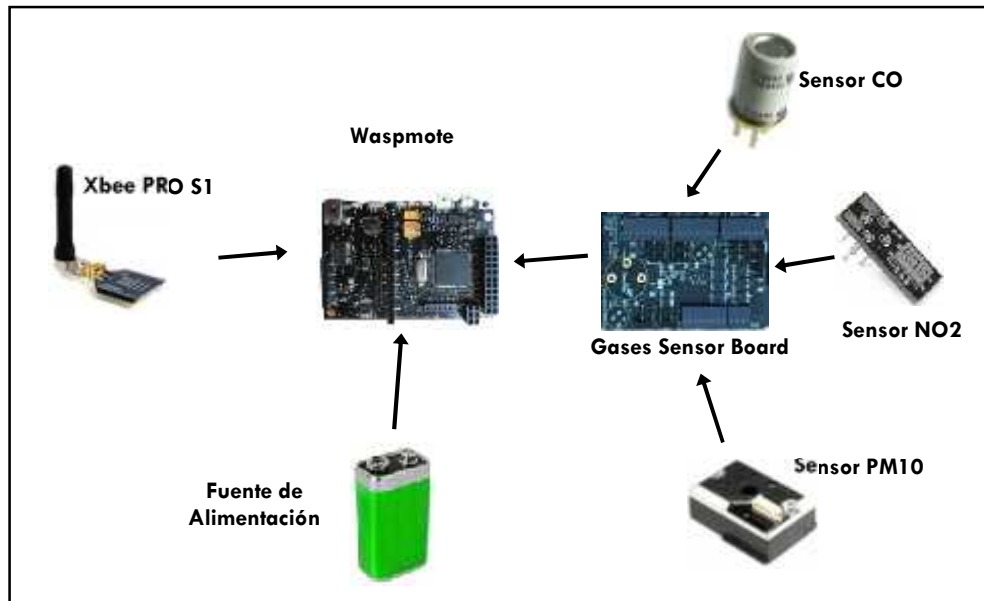
**Tabla 2-8** Correspondencia Pines Intel Galileo-Placa Acoplamiento

Intel Galileo	Placa Acoplamiento
5 V	Vcc
GND	GND
A4	CO
A5	NO2
7	PM10

Fuente: Elaboración Propia

### 2.6.2.3 Nodo Wasmote

El nodo Wasmote puede considerarse un nodo especial al ser una plataforma diseñada para aplicaciones IoT, de manera que trae incorporado la conexión necesaria para incorporar un módulo Xbee o cualquier otro módulo de comunicación inalámbrica, prescindiendo del Shield utilizado por los demás nodos. Sin embargo, para la conexión de los diferentes sensores incorpora un Shield que permite la conexión directa de todos los sensores utilizados, por tanto, el nodo waspmote contará con los elementos de la *Figura 2-15*.



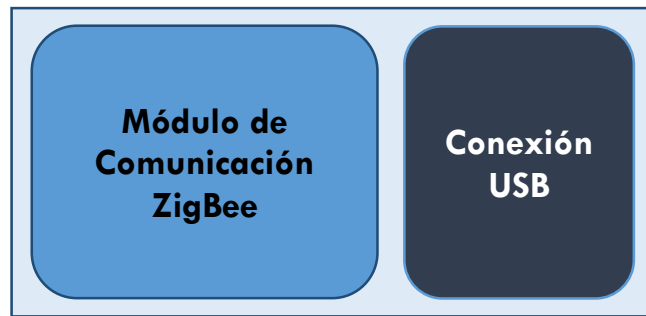
**Figura 2-15** Nodo Wasmote

Fuente: Elaboración Propia

De cierta manera este nodo reduce el espacio necesario para su instalación ya que las conexiones tanto de los sensores como el módulo Xbee se realiza directamente hacia el nodo, prescindiendo de placas de acoplamiento como en los nodos anteriores.

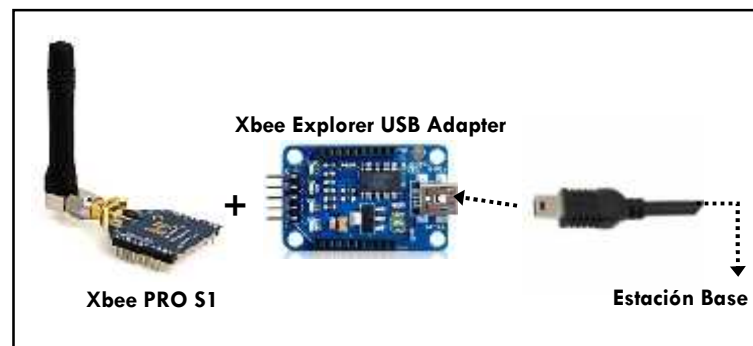
### 2.6.3 Gateway

El dispositivo gateway al estar encargado de interconectar la WSN con una infraestructura externa se encontrará conectado directamente con la estación base. La comunicación entre estos dos elementos se realizará de manera serial, a través de una conexión USB que emulará dicha conexión, y la comunicación con los nodos pertenecientes a la WSN se realizará por un módulo de comunicación ZigBee incorporado, además el gateway será el nodo coordinador de la red de sensores inalámbricos, la *Figura 2-16* muestra su constitución.



**Figura 2-16** Nodo Gateway Proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

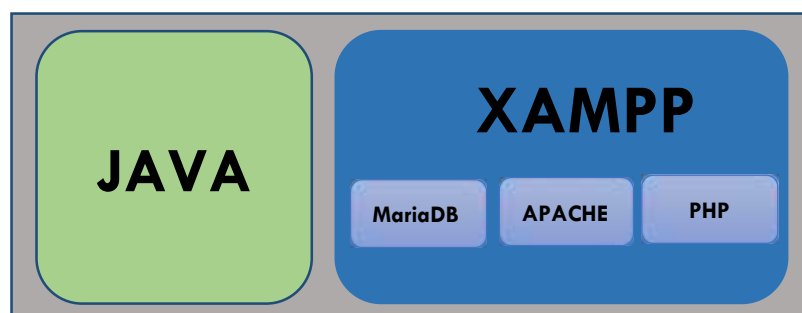
Físicamente el gateway estará formado por los elementos mostrados en la *Figura 2-17*.



**Figura 2-17** Nodo Gateway  
Fuente: Elaboración Propia

#### 2.6.4 Estación Base

La estación base estará encargada de recolectar toda la información adquirida por la WSN a través del nodo coordinador para procesarla, almacenarla y presentarla al usuario final correctamente. Contará con el software necesario para la comunicación con el Gateway, una aplicación Java que se encargará de recibir los datos enviados por el nodo coordinador y almacenarlos en una base de datos, y una plataforma libre de desarrollo tanto para la gestión de la información a almacenar como para presentar la información al usuario final, se utilizará XAMPP, como muestra la *Figura 2-18*.



**Figura 2-18** Estación Base Proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

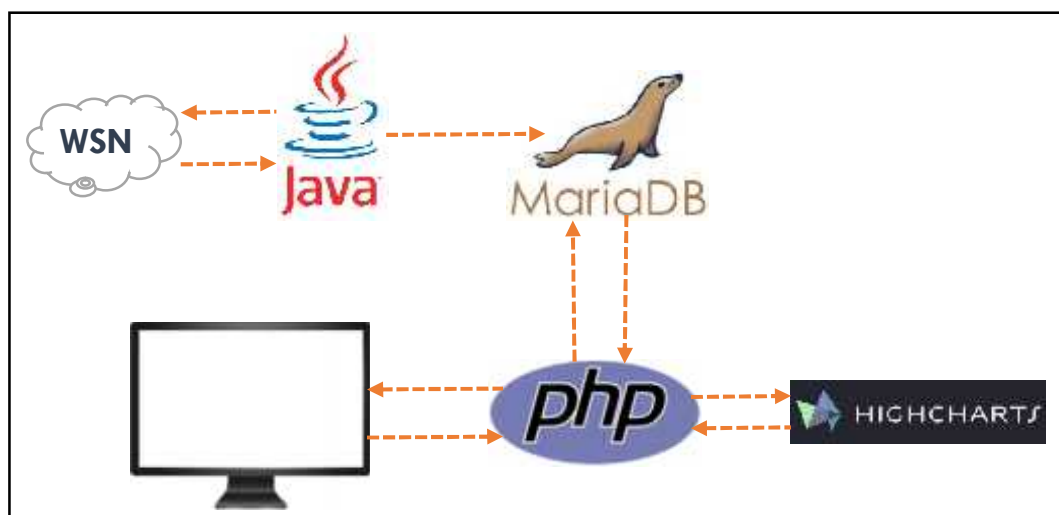
XAMPP incorpora el sistema de gestión de base de MariaDB, APACHE como servidor web y un intérprete para lenguajes de programación PHP y Perl. Todo esto en un único paquete para implementar en un equipo con sistema operativo Windows, permitiendo añadir diferentes complementos según sean las necesidades.

#### 2.6.4.1 Interfaz de Control

Para controlar correctamente el Sistema de Monitoreo de Polución de Aire es necesario desarrollar una interfaz que permita seleccionar el puerto correcto para conectar la estación base con el nodo gateway para recolectar y procesar todos los datos suministrados por cada uno de los nodos; además es necesario contar con un parámetro que especifique el intervalo de tiempo con el que cada nodo sensor tomará una muestra del medio ambiente. La interfaz será desarrollada en JAVA debido a las librerías existentes que permiten realizar la adecuada comunicación serial con el nodo gateway.

#### 2.6.4.2 Interfaz de Usuario

La estación base estará encargada de manipular correctamente toda la información suministrada por la WSN, para cumplir con esta función necesita contar con la aplicación correspondiente que permita la comunicación con el nodo coordinador, y por ende con la WSN. Además, debe contar con los servicios necesarios para presentar un front-end para el usuario final, mediante una página web con la información recolectada, la *Figura 2-19* representa el funcionamiento básico.



**Figura 2-19** Funcionamiento de Aplicación Proyecto

Fuente: Elaboración Propia

Cada aplicación cumple un papel importante que permite la presentación de toda la información recolectada al usuario final, mediante una interfaz gráfica y amigable que permita una mejor representación de la información, así las funciones que desempeñará cada aplicación son:

- **Aplicación Java:** Aplicación encargada de controlar el intervalo de muestreo de cada nodo a través del nodo coordinador, mediante una comunicación serial emulada por una conexión USB. De igual manera se encargará de almacenar los datos enviados por cada nodo sensor en una Base de Datos.
- **MariaDB:** Sistema de gestión de base de datos, incluido en el paquete XAMPP, encargada de almacenar toda la información recolectada por los nodos sensores.
- **PHP:** Presentará una página web con la información cuantitativa y cualitativa del Sistema de Monitoreo de Polución de Aire, mediante gráficas y tablas para un fácil entendimiento.
- **HighCharts:** Librería desarrollada en JavaScript, que permite elaborar gráficos interactivos en un sitio web soportando diagramas de pastel, líneas, barras, etc.

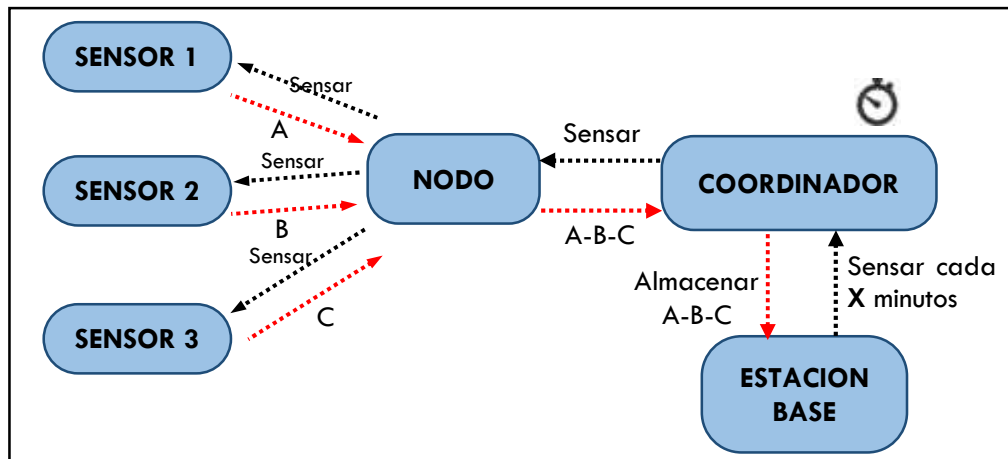
## 2.7 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Inicialmente cada nodo sensor se encontrará en modo reposo sin realizar ningún tipo de operación sin la autorización del nodo coordinador. Para que un nodo sensor empiece a operar es necesario que reciba la señal correspondiente del nodo coordinador, indicando que empiece a registrar los valores entregados por cada uno de los sensores que incorpora. El intervalo de tiempo que cada nodo censará el ambiente está controlado por el nodo coordinador, y este a su vez está controlado por la aplicación desarrollado en Java permitiendo al administrador ajustar el intervalo según sus necesidades.

Cada nodo sensor medirá tres variables ambientales a través de sus sensores, la primera variable a medir será el monóxido de carbono tomando diez muestras consecutivas y obteniendo el promedio correspondiente. La segunda variable a registrar será el dióxido de nitrógeno tomando de igual manera diez muestras consecutivas y obteniendo su promedio; el último contaminante a medir serán las partículas menores a 10 micras en el aire debido a especificaciones técnicas del fabricante que indica necesitar 30 segundos de muestreo para entregar un valor confiable.

Una vez obtenido los valores de los tres contaminantes se enviarán inalámbricamente a través del módulo Zigbee hacia el nodo coordinador, cada nodo enviará los datos recolectados después de un intervalo de tiempo específico ya que la comunicación realizada a través de ZigBee simula una comunicación serial obviando el elemento físico, por lo que si llegasen los paquetes de los tres nodos al mismo tiempo se mezclarían la información correspondiente a cada uno.





**Figura 2-20** Principio de Funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia

El nodo coordinador al recibir el paquete de un nodo lo transfiere a la estación base, para a través de la aplicación Java almacenar correctamente los datos que contiene en una base de datos. Toda la información recolectada se presenta a través de una página web desarrollada para este propósito. La *Figura 2-20* muestra una representación del funcionamiento de la red de sensores inalámbricos.

## 2.8 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

El sistema será desplegado en el interior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, específicamente en el Modular de Electrónica, para lo cual es necesario configurar cada uno de los nodos sensores, el gateway y la estación base. Adicionalmente los módulos de comunicación inalámbrica deben configurarse individualmente para que la red WSN se establezca correctamente.

### 2.8.1 Nodos

#### 2.8.1.1 Arduino UNO

Para la correcta programación del módulo es necesario contar con su entorno de desarrollo, Arduino IDE, mostrado en la *Figura 2-21*, encargada de compilar y cargar correctamente la programación en el dispositivo, el código correspondiente a la programación se encuentra en el *Anexo 2*.



**Figura 2-21** Arduino IDE

Fuente: Elaboración Propia

Una vez configurado correctamente el nodo sensor se procede a la implementación dentro de su respectiva caja protectora, como se muestra en la *Figura 2-22*



**Figura 2-22** Nodo Arduino Implementado

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.8.1.2 Intel Galileo

La plataforma Intel Galileo al ser compatible con la plataforma Arduino permite la programación de la placa utilizando el mismo entorno de desarrollo, incorporando las mismas características como si de la plataforma Arduino se tratase. El nodo implementado se aprecia en la *Figura 2-23*, mientras que el código de programación correspondiente se encuentra en el *Anexo 2*.



**Figura 2-23** Nodo Intel Galileo Implementado  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.8.1.3 Wasmote

Esta plataforma utiliza su propio entorno de desarrollo por lo que no es compatible con los sketches desarrollados por alguna de las plataformas anteriores. Su entorno de desarrollo se denomina Wasmote IDE, mostrada en la *Figura 2-24*, que a pesar de tener un aspecto similar al entorno de desarrollo anteriores las instrucciones con las que trabaja son totalmente diferentes.



**Figura 2-24** Wasmote IDE  
Fuente: Elaboración Propia

Este nodo de igual manera contará con una cubierta protectora de cambios climáticos, la programación respectiva del nodo se encuentra en el *Anexo 2*, quedando el nodo implementado como se aprecia en la *Figura 2-25*,



**Figura 2-25** Nodo Wasp mote Implementado

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.8.1.4 Gateway

Al ser un nodo especial que posee únicamente el módulo de comunicación inalámbrica ocupa una caja de protección de un reducido tamaño, además cuenta con la conexión directa con la estación base, como se muestra en la *Figura 2-26*.

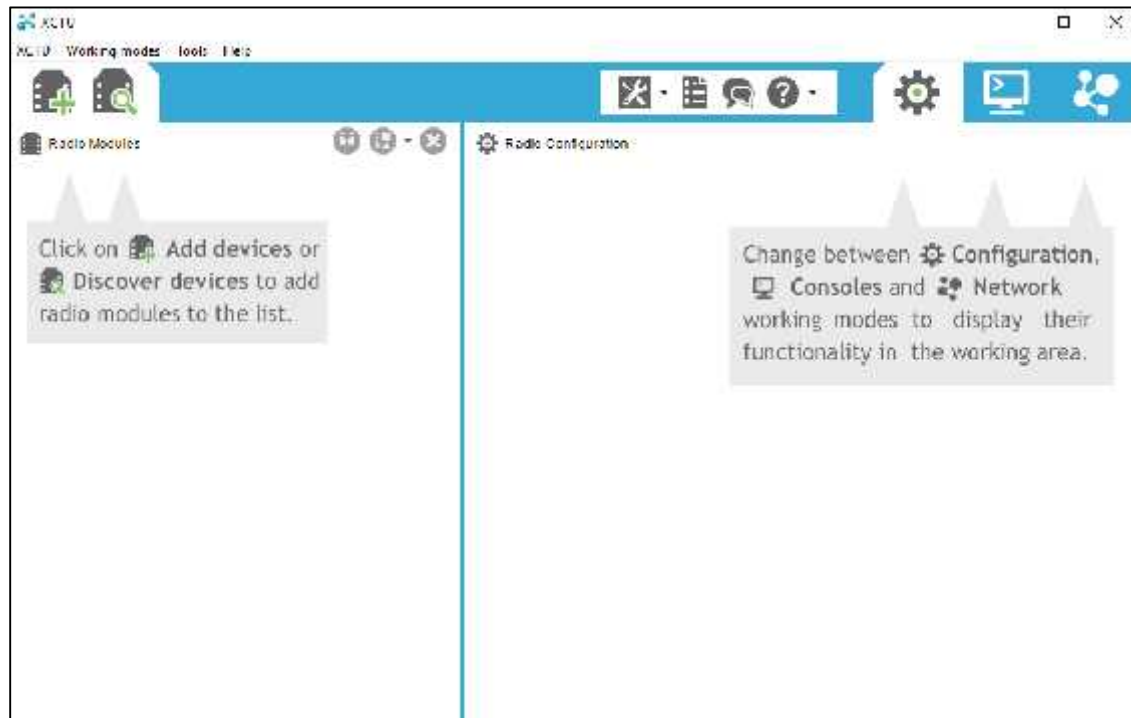


**Figura 2-26** Nodo Gateway Implementado

Fuente: Elaboración Propia

### 2.8.2 Configuración Módulos XBEE

La topología utilizada por la red WSN es estrella, siendo necesario configurar correctamente cada módulo Xbee incorporado en los diferentes nodos para que envíen correctamente la información hacia su destino, en este caso el nodo gateway de la red. La configuración de cada módulo se realiza a través del software XCTU, mostrado en la *Figura 2-27*.



**Figura 2-27** Software XCTU

Fuente: Elaboración Propia

Para establecer una correcta comunicación es necesario configurar la dirección de destino de cada módulo Xbee en los nodos sensores con la dirección del nodo gateway. De igual manera se debe configurar el canal de operación, asignar un identificador de red, seleccionar la velocidad de operación y lo más importante el modo de operación de cada módulo ya que debe existir un único coordinador en cada red WSN. Los principales parámetros configurados en cada uno de los nodos de detallan en la *Tabla 2-10*.

**Tabla 2-9** Configuración Módulos Xbee

Parámetro	Nodo Arduino UNO	Nodo Intel Galileo	Nodo Wasp mote	Coordinador
Channel	15	15	15	15
PAN ID	3991	3991	3991	3991
Destination Address High	13A200	13A200	13A200	0
Destination Address High	40D4B63D	40D4B63D	40D4B63D	FFFF
Serial Number High	13A200	13A200	13A200	13A200
Serial Number Low	40DAF0AF	40D4C81A	40D4B643	40D4B63D
Coordinator enable	End Device [0]	End Device [0]	End Device [0]	Coordinator [1]
Interface Data Rate	115 200	115 200	115 200	115 200

Fuente: Elaboración Propia

El canal que opera la WSN ha sido seleccionada tomando en cuenta las interferencias producidas por otros sistemas operando en la banda ISM, principalmente las redes Wifi, siendo los canales 15 y 20 del estándar 802.15.4 los más idóneos, debido a que las frecuencias en las que operan no presentan solapamiento con los canales más utilizados en redes Wifi. (Digi, 2016)

### 2.8.3 Interfaz de Control

Interfaz desarrollada en Java con una interfaz amigable e intuitiva, mostrada en la *Figura 2-28*, a través la cual el usuario podrá elegir los parámetros adecuados según el funcionamiento que requiera la red, su código fuente se encuentra disponible en el *Anexo 3*. El programa permitirá llevar a cabo las siguientes acciones:

- Elección de puerto serial: Despliega un listado de puertos seriales disponibles, de los cuales se seleccionará el correspondiente al puerto del coordinador.
- Actualizar: Realiza una nueva búsqueda de los puertos disponibles, en caso de modificación.
- Conectar: Establece la conexión con el nodo coordinador de la WSN, de este modo se encontrará listo para la recepción de los valores.

- Intervalo de tiempo: Permite insertar el intervalo que existirá entre la toma de muestras por cada nodo sensor, siendo flexible a los requerimientos del usuario, el valor especificado será en minutos.
- Sensar: Iniciar la solicitud de datos a cada nodo sensor.



**Figura 2-28** Interfaz de Control

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.8.4 Base de Datos

La base de datos está gestionada por el sistema MariaDB, contando con las tablas y relaciones mostradas en la *Figura 2-26*. Los parámetros sensados por cada nodo serán almacenados al mismo instante de tiempo en la tabla correspondiente, adjuntando la fecha y hora a cada valor que sea recibido de la red.





representación grafica de los datos mostrados con la posibilidad de seleccionar los contaminantes a visualizar, como se muestra en la *Figura 2-31*



**Figura 2-31** Gráfica de Información Recolectada  
Fuente: Elaboración Propia

## 2.9 LOCALIZACIÓN

La red está encargada de monitorear el área cercana al modular de Electrónica, donde cada nodo está ubicado en los puntos mostrados en la *Figura 2-32*, cubriendo correctamente el área mencionada.



**Figura 2-32** Ubicación Red WSN  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.9.1 *Nodo Sensor 1*

El nodo Arduino UNO está instalado en la garita cercana a la Facultad de Ciencias, cubriendo la parte lateral del Modular de Electrónica, la *Figura 2-33* muestra el nodo instalado.



**Figura 2-33** Ubicación Nodo #1

Fuente: Elaboración Propia

### 2.9.2 *Nodo Sensor 2*

El nodo Intel Galileo está ubicado en el modular de la Escuela de Física y Matemática, permitiendo cubrir específicamente el área frente al modular de Electrónica. El nodo instalado se muestra en la *Figura 2-34*.

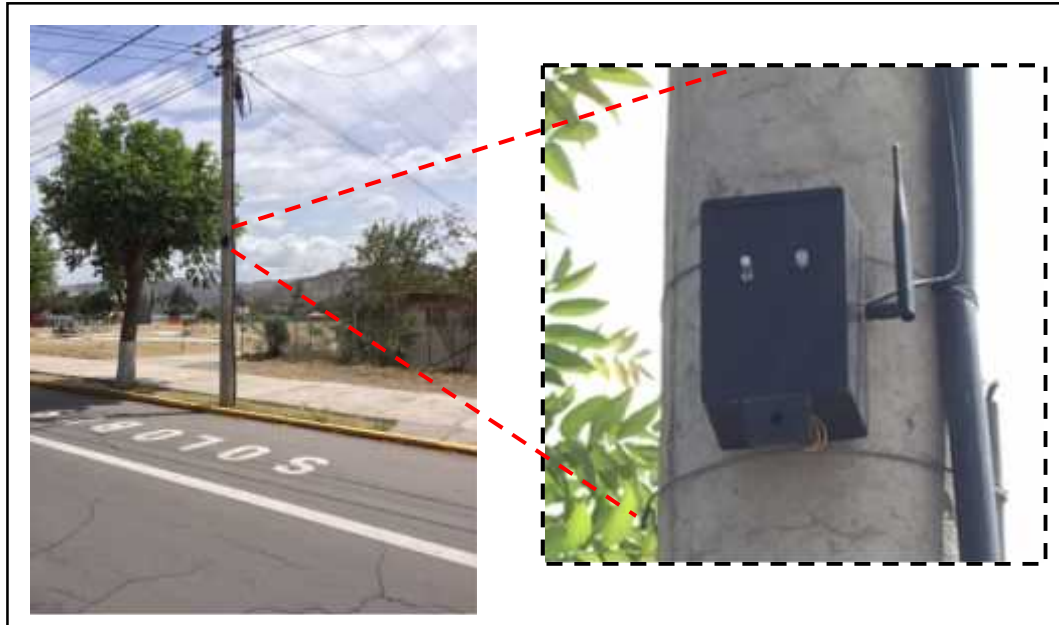


**Figura 2-34** Ubicación Nodo #2

Fuente: Elaboración Propia

### 2.9.3 *Nodo Sensor 3*

El nodo Wasp mote está instalado en el poste cercano a la entrada del Parque del Estudiante permitiendo cubrir el área restante del Modular de Electrónica, el nodo implementado se muestra en la *Figura 2-33*.



**Figura 2-35** Ubicación Nodo #3

Fuente: Elaboración Propia

### 2.9.4 *Gateway - Estación Base*

Los nodos sensores estarán enlazados al gateway de la red y este a la vez estará encargado de enlazar la red WSN a la Estación Base, estos dos elementos claves en la red se encontrarán ubicados en el Modular de Electrónica como muestra la *Figura 2-34*.



**Figura 2-36** Ubicación Gateway y Estación Base

Fuente: Elaboración Propia

## 2.10 FACTORES A TOMAR A CONSIDERACIÓN

### 2.10.1 Costo de Nodos

El factor económico es el primero a tomar en cuenta al seleccionar la tecnología para desarrollar un proyecto, siendo la mayor parte de ocasiones el que influye directamente en la elección. Desde este punto de vista resulta indispensable determinar la inversión necesaria para implementar el Sistema de Monitoreo de Polución de Aire, tomando a consideración que los diferentes nodos poseerán elementos comunes siendo la variante más representativa la plataforma en la que están desarrollados.

En la red cada nodo está basado en una plataforma diferente, siendo esta el cerebro de cada uno de ellos e indispensable para su funcionamiento, contando con elementos adicionales que permitirán el cumplimiento de sus funciones.

Los elementos más importantes de cada nodo son:

- Módulo de Comunicación Xbee
- Xbee Shield (Adaptador de conexión módulo Xbee)
- Sensores (CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>)
- Plataforma IoT

La *Tabla 2-10* muestra el precio de cada nodo tomando en cuenta los elementos mencionados anteriormente, los precios que se presentan son aproximaciones del valor de cada elemento, tomando en cuenta que algunos de ellos no fueron encontrados en el mercado nacional, siendo necesaria su importación.

**Tabla 2-10** Costo Nodos Sensores

Elemento	Nodo		
	Plataforma Arduino	Plataforma Galileo	Plataforma Libelium
Placa de desarrollo	\$ 30	\$ 90	\$ 180
Módulo Xbee + Antena 5dBi	\$ 70	\$ 70	
Xbee Shield	\$ 15	\$ 15	-----
Sensor CO	\$ 10	\$ 10	\$ 30
Sensor NO <sub>2</sub>	\$ 25	\$ 25	\$ 25
Sensor PM <sub>10</sub>	\$ 25	\$ 25	\$ 15
Waspmote Gas Board	-----	-----	\$ 200

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 175</b>	<b>\$235</b>	<b>\$ 450</b>
--------------------	---------------	--------------	---------------

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar la notable diferencias de costo existentes entre cada nodo, pese a que la tarea que desempeñan es la misma, los precios varían principalmente en función de su plataforma.

### **2.10.2 Cobertura de Red**

Dentro de una red de sensores inalámbricos, independientemente de la plataforma que ocupe cada uno de sus nodos, el alcance de la red se ve influenciado directamente por el módulo de comunicación inalámbrica utilizado, dependiendo del tipo antena o potencia utilizada al momento de transmitir información.

Para una correcta comunicación nodo coordinador-nodo sensor, y viceversa, es recomendable que entre ambos dispositivos exista línea de vista con la cantidad mínima de obstáculos, ya que la potencia utilizada por los módulos de comunicación inalámbrica es limitada debido a que no fueron diseñados para atravesar gran cantidad de objetos sino establecer un canal de comunicación inalámbrico entre dos puntos distantes.

### **2.10.3 Código no Reutilizable**

Cada nodo sensor necesita la programación adecuada para cumplir con una tarea específica, al utilizar diferentes plataformas IoT no es posible configurar todas ellas bajo un mismo entorno de desarrollo (IDE) ni utilizar las mismas instrucciones usadas en el código de programación, ya que dependiendo de la plataforma puede utilizar una sintaxis similar o ser totalmente distinta para realizar una tarea.

Si bien modificar el código para un número pequeño de plataformas no puede resultar muy complejo, al momento de aumentar este número resulta un trabajo tedioso ya que es necesario tener conocimientos sobre cada una de ellas, además que el tiempo necesario para realizar la correcta configuración aumentará considerablemente.

### **2.10.4 Soporte Técnico e Información**

El proceso de configuración de cada una de las plataformas puede generar inconvenientes a nivel técnico, siendo necesario recurrir a fuentes de información on-line procurando que sean suministradas por cada uno de los fabricantes. Dependiendo la plataforma de IoT es posible encontrar soluciones a problemas complejos a través de foros, soporte directo del fabricante, publicaciones en portales web, etc., viéndose directamente influenciada la cantidad de información disponible por el nivel de acogida de la plataforma en el mercado.

En ciertas ocasiones la información disponible puede resultar no muy confiable debido a la gran cantidad de fuentes que entregan información sobre el mismo tema, incluyendo los mismos fabricantes al no disponer información consistente en un mismo documento, pudiendo encontrar ciertas ambigüedades.

#### ***2.10.5 Canales de Distribución***

La elección de los diferentes dispositivos a utilizar debe realizarse tomando en cuenta los canales de distribución disponibles a nivel local, ya que la adquisición de determinados dispositivos desde el exterior puede necesitar demasiado tiempo sin obviar los costos adicionales que podría acarrear, siendo recomendable alinearse a las opciones disponibles localmente, esto sin desfavorecer las existentes en el mercado exterior.

#### ***2.10.6 Accesorios***

Cada plataforma puede necesitar ciertos aditamentos para cumplir con un requerimiento específico, en este caso para comunicación inalámbrica, pudiendo ser o no compatibles entre plataformas son necesarias para cubrir las necesidades del sistema.

La variedad de accesorios existentes depende directamente de la plataforma, basándose en la aceptación del mercado para que pueda existir un abanico de posibilidades y permitan cubrir tareas sencillas o hasta las más complejas.



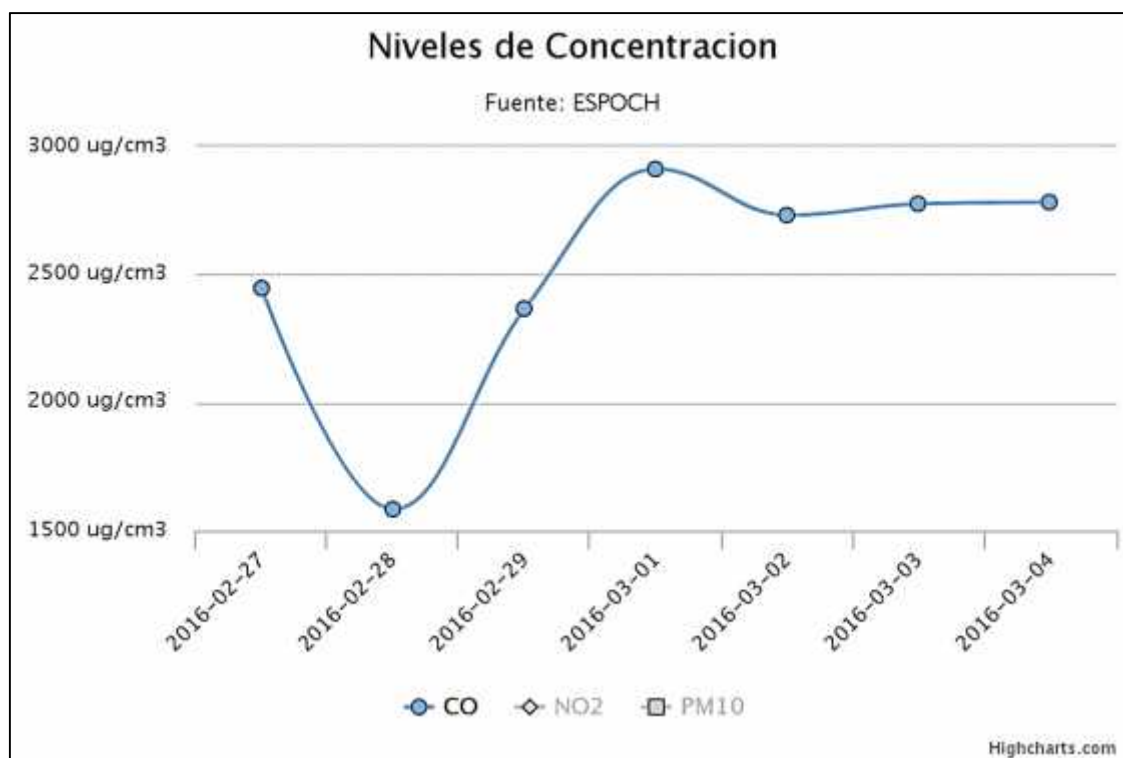
### 3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1 SISTEMA DE MONITOREO DE POLUCIÓN DE AIRE

El sistema estuvo instalado y activo durante siete días ininterrumpidamente (27 de Febrero – 4 de Marzo del 2016), tiempo recomendado por trabajos previos realizados como “*Desarrollo e Implementación de una Red de Monitorización de Variables Ambientales a través de SMS en la Región de Loreto*” de la Pontificia Universidad Católica del Perú, o el trabajo desarrollado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “*Diseño de la Red de Sensores Inalámbricos mediante la evaluación del desempeño de las plataformas Arduino y Waspote bajo el Protocolo de Comunicaciones Zigbee para el Monitoreo y Control de los Embalses de Agoyán y Pisayambo*”.

Para representar los datos obtenidos por cada uno de los nodos se utiliza diagrama de líneas, que permiten tener una visión clara de las variaciones de cada uno de los contaminantes en el ambiente, de la *Figura 3-1* a la *Figura 3-9* se muestra los valores registrados por cada uno de los nodos.

##### NODO 1 (ARDUINO) – GARITA FACULTAD DE CIENCIAS



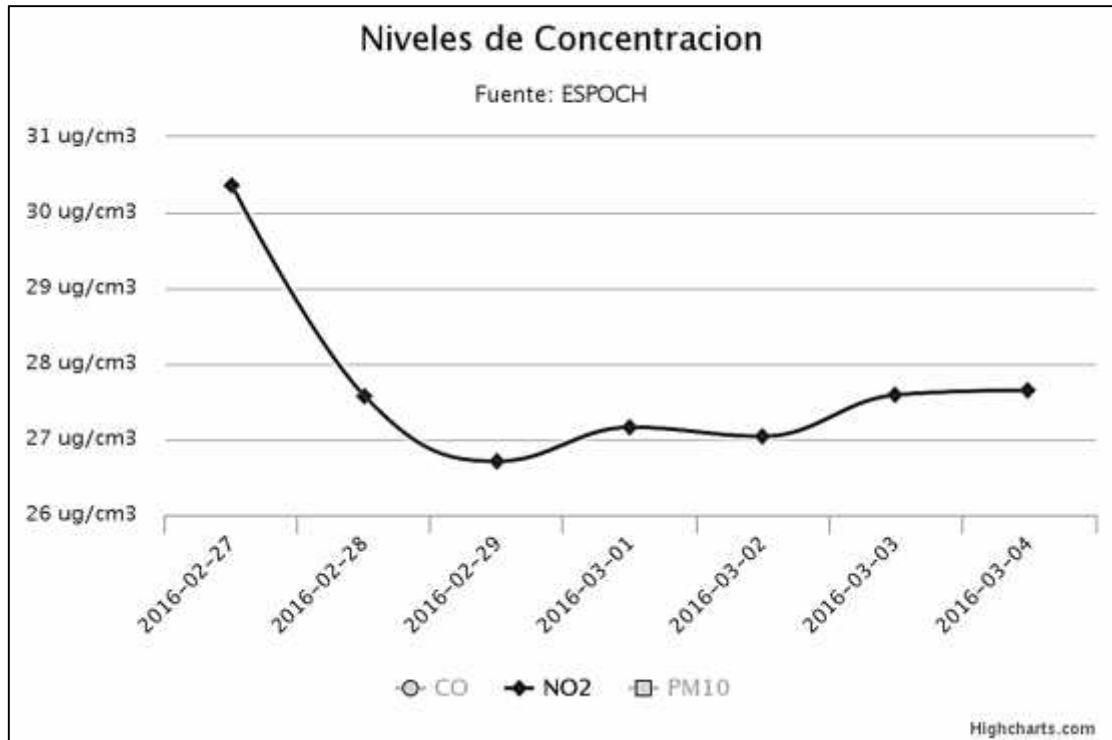
**Figura 3-1** Concentración de CO - Nodo 1

Fuente: Elaboración Propia

El promedio mínimo de concentración de CO en esta ubicación fue de  $1\,583.93\,\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondientes al día 28 de febrero, mientras que el nivel máximo se registra el día 1 de marzo con un valor de  $2\,911.24\,\mu\text{g}/\text{m}^3$  obteniendo un promedio de concentración de  $2\,513.87$

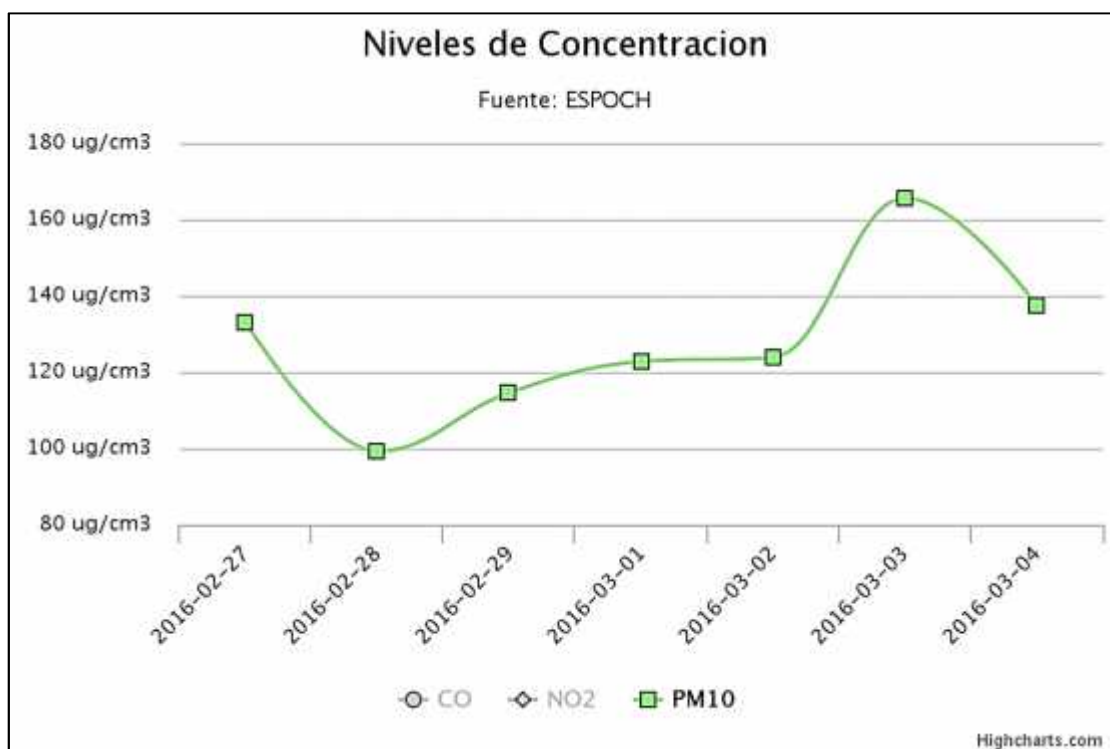


$\mu\text{g}/\text{m}^3$  de CO durante los siete días de operación del sistema, donde el nivel de concentración máximo registrado no sobrepasan el nivel de concentración límite de  $10\,000\,\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en el Plan Nacional de Calidad de Aire. La *Figura 3-1* muestra los promedios de concentración sensados correspondientes a cada uno de los días.



**Figura 3-2** Concentración de NO2 - Nodo 1  
Fuente: Elaboración Propia

Los niveles de promedio de concentración de NO2 se muestran en la *Figura 3-2*, donde claramente se aprecia el nivel máximo registrado de  $30.36\,\mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 27 de febrero, mientras que, el valor mínimo fue de  $26.71\,\mu\text{g}/\text{m}^3$  sensado el día 29 de febrero, obteniendo un promedio total de  $27.73\,\mu\text{g}/\text{m}^3$  de los siete días que se mantuvo operativo el sistema. Alineados al Plan Nacional de Calidad de Airese determina que ninguno de los niveles de concentración registrados supera los  $150\,\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor máximo permisible del contaminante

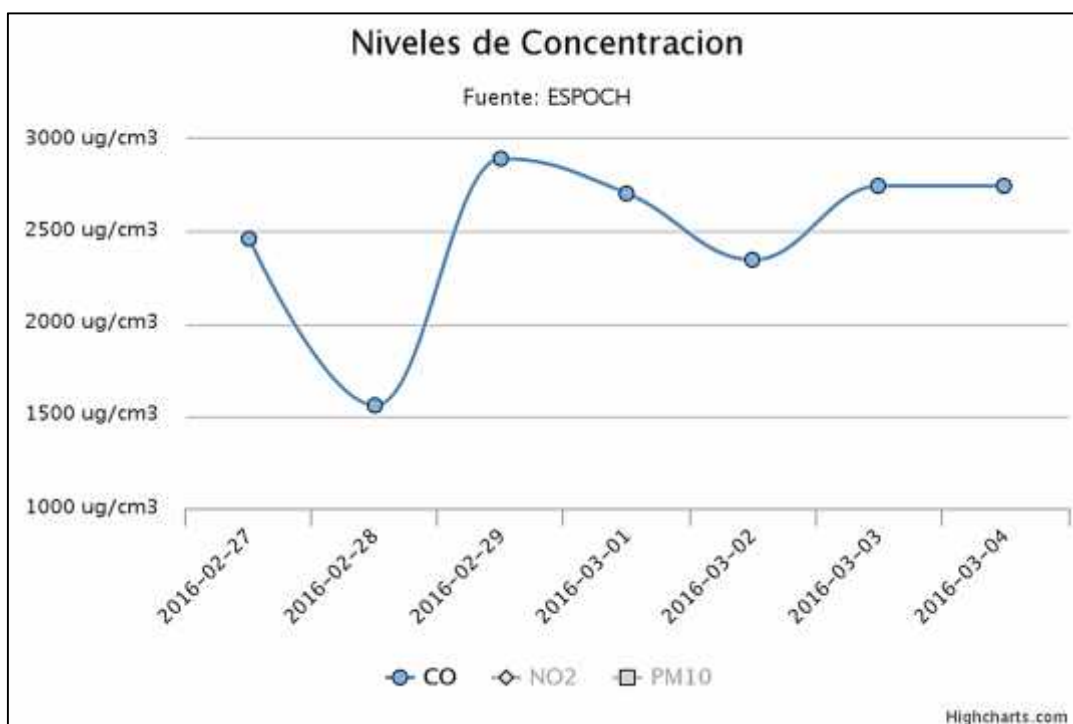


**Figura 3-3** Concentración de PM10 - Nodo 1  
Fuente: Elaboración Propia

El nivel de concentración de PM10, claramente en la *Figura 3-3*, muestra al contaminante más cercano a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , límite de concentración establecido en la Norma de Calidad Aire Ambiente. El día con mayor concentración del contaminante en el ambiente fue el 3 de marzo, que sobrepasa los valores del Plan Nacional de Calidad de Aire registrando 165.64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; tomando en cuenta los siete días de muestreo presenta un promedio de 2 513.87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

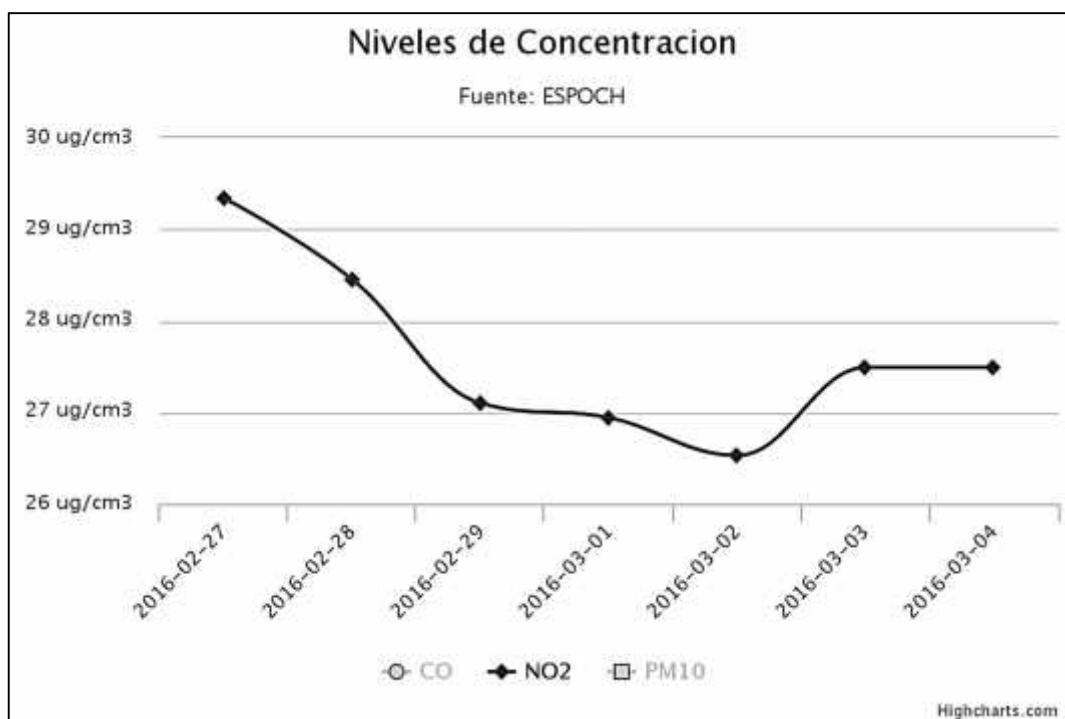
#### NODO 2 (INTEL GALILEO)– MODULAR FACULTAD DE ELECTRÓNICA

Los niveles de concentración de CO registrados en este nodo se encuentran dentro del nivel establecidos en el Plan Nacional de Calidad Aire, mostrados en la *Figura 3-4*, donde cada uno de los valores no llega a sobrepasar el límite establecido de 10 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los niveles de concentración máximo y mínimo son 2 893.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1 556.95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, presentando un promedio de 2 493.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para los siete días que operativa la red.



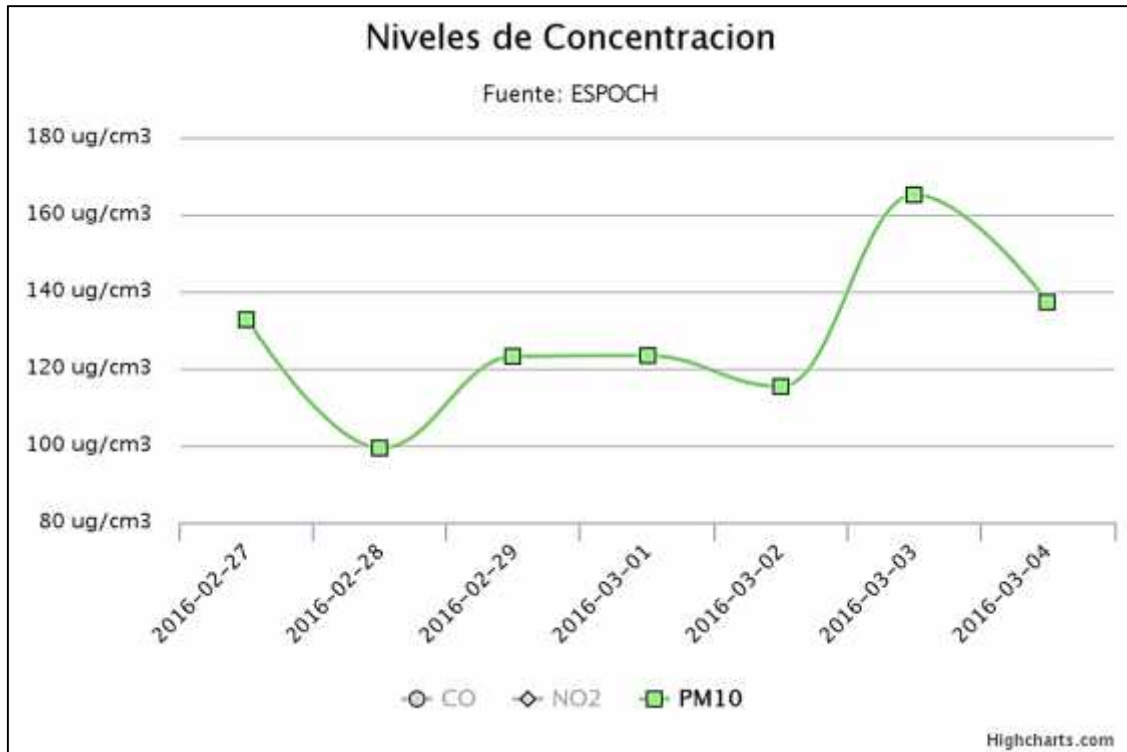
**Figura 3-4** Concentración de CO - Nodo 2  
Fuente: Elaboración Propia

Los valores correspondientes a NO2 se mantienen debajo del límite establecido de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la *Tabla 1-10*. El máximo nivel de concentración registrado por este nodo fue de  $29.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y su mínimo de  $26.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , obteniendo un promedio de  $27.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de los siete días que se mantuvo operativa la red, los valores promedios de cada día se muestran en la *Figura 3-5*.



**Figura 3-5** Concentración de NO2 - Nodo 2  
Fuente: Elaboración Propia

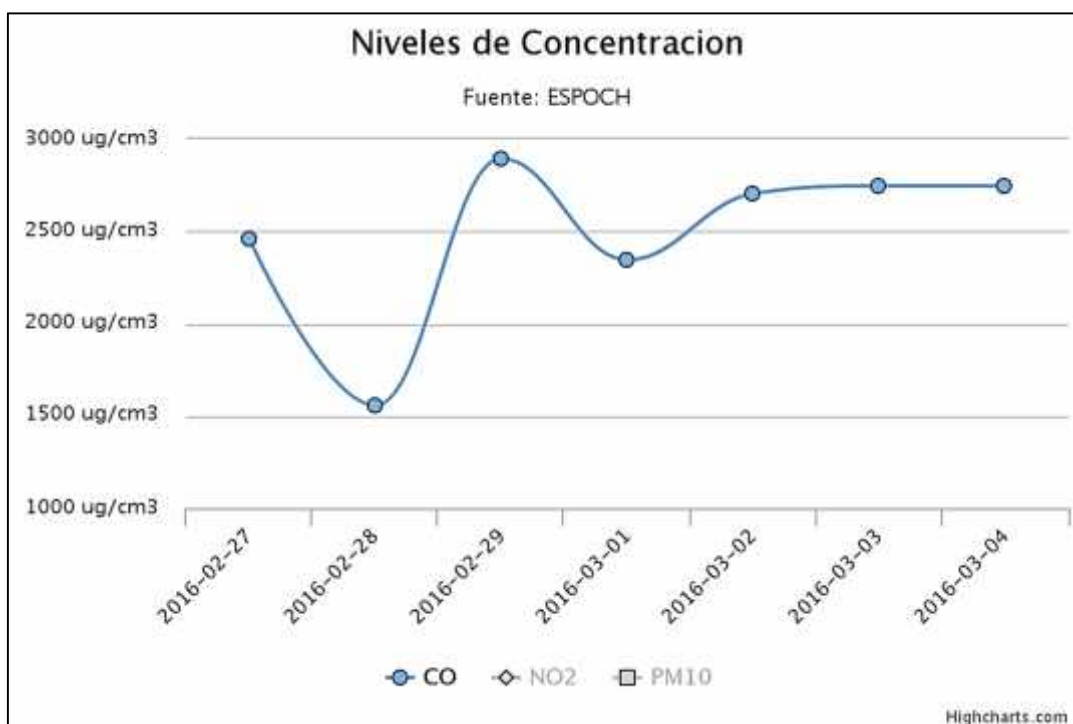
El contaminante PM10 presenta niveles de concentración que supera el límite de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en el Plan Nacional de Calidad Aire como se aprecia en la *Figura 3-6*, llegando a valores de  $166.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 3 marzo, mientras que los días restantes presentan valores muy cercanos al nivel máximo permitido.



**Figura 3-6** Concentración de PM10 - Nodo 2  
Fuente: Elaboración Propia

### NODO 3 (WASPMOTE) – INGRESO PARQUE DEL ESTUDIANTE

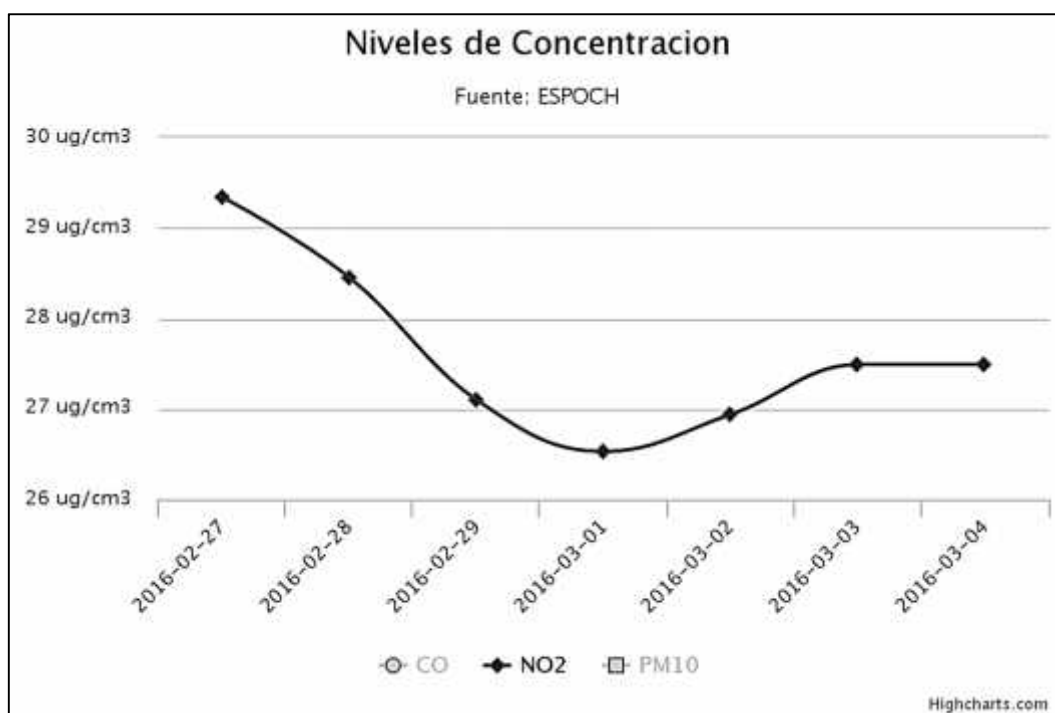
Los valores de CO registrados en este nodo se encuentran debajo del límite establecido de  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , donde la concentración más alta registrada es de  $2893.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que el nivel más bajo fue de  $1556.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  obteniendo un promedio de  $2490.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante los siete días que el nodo se mantuvo registrando la concentración del contaminante. Los valores promedios diarios se muestran en la *Figura 3-7*.



**Figura 3-7** Concentración de CO - Nodo 3

Fuente: Elaboración Propia

Los niveles de concentración promedio de NO2 registrados cada uno de los días que se mantuvo operativa la red no muestra niveles que superen el límite establecido en la *Tabla 1-10*. El nivel máximo registrado es de 29.34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 27 de febrero y el mínimo de 26.53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 1 de marzo, como se aprecia en la *Figura 3-8*, obteniendo un promedio de 27.62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de presencia del contaminante durante la semana de muestreo.



**Figura 3-8** Concentración de NO2 - Nodo 3

Fuente: Elaboración Propia

El contaminante con mayores niveles registrados continúa siendo PM10, llegando a valores de  $165.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 3 de marzo, que superan el límite de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en el Plan Nacional de Calidad de Aire. De igual manera la concentración más baja registrada es de  $99.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que se mantiene muy cerca del límite permisible de presencia de este contaminante. De los siete días que se mantuvo operativa la red se obtiene un promedio de  $128.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 3-9** Concentración de PM10 - Nodo 3  
Fuente: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos del Sistema de Monitoreo de Polución de Aire al alinearlos al Plan Nacional de Calidad de Aire podemos determinar que:

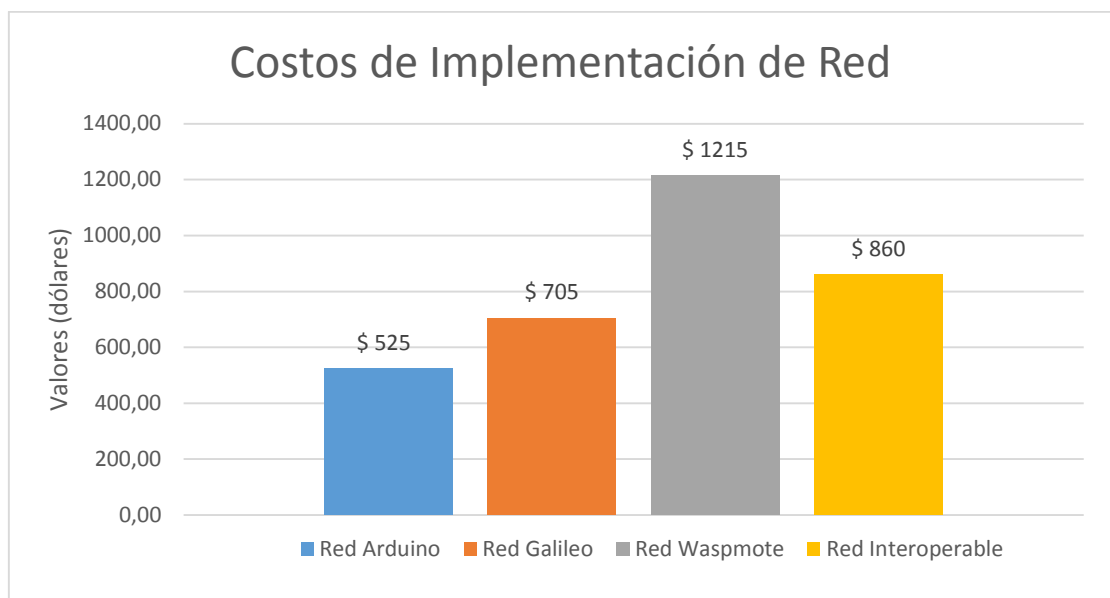
- El nivel de CO sensado por cada uno de sus nodos se encuentran dentro del rango establecido por el Plan Nacional de Calidad de Aire, cabe recalcar que ninguno de los valores registrados sobrepasa el límite establecido de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- El nivel de NO2 oscila entre  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , al observar la *Tabla 1-10* el límite máximo permitido es de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por tanto los valores sensados se encuentran en un rango razonable de exposición para las personas.
- El nivel de PM10 al contrario que los contaminantes anteriores se observan que llega a alcanzar valores que sobrepasan los límites establecidos por el Plan Nacional de Calidad de Aire de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la presencia excesiva de este contaminante puede ser influencia directa del volcán Tungurahua y sus erupciones constantes que conllevan a presencia de ceniza en el ambiente.

## 3.2 INTEROPERABILIDAD PLATAFORMAS IOT

### 3.2.1 Análisis Costo-Beneficio de Red

La red propuesta pretende realizar el análisis a una red condispositivos de características similares pertenecientes a diferentes plataformasoperando en conjunto, uno de los parámetros a analizar y entre los más relevantes para implementar una red es el factor económico, pues juega un rol principal al momento de la elección de como estructurar la red.

La *Figura 3-10*muestra los costos de la red, basada en la *Tabla 2-11*,considerandotodoslosdispositivos de una misma plataforma, tomando como referencia las plataformas utilizadas en el Sistema de Polución de Aire, que son Arduino, Intel Galileo y Libelium



**Figura 3-10**Costo de Implementación

Fuente: Elaboración Propia

El costo requerido para implementar una red interoperable presenta un costo intermedio del necesario para implementar una red basada en una única plataforma de las utilizadas en el sistema, resultando en un ahorro de costos si ya se cuenta con las diferentes plataformas, pero, en caso de necesitar una red desde cero la opción más viable y más conveniente es implementar el sistema con todos sus nodos de una misma plataforma.

Bajo estas premisas es deducible que la implementación de una red interoperable con distintas plataformas IoT es posible, pero no resulta una decisión conveniente pues existe variedad de plataformas en el mercado que realizan las mismas funciones y permiten reducir costos, así como facilidad en la configuración para el administrador.





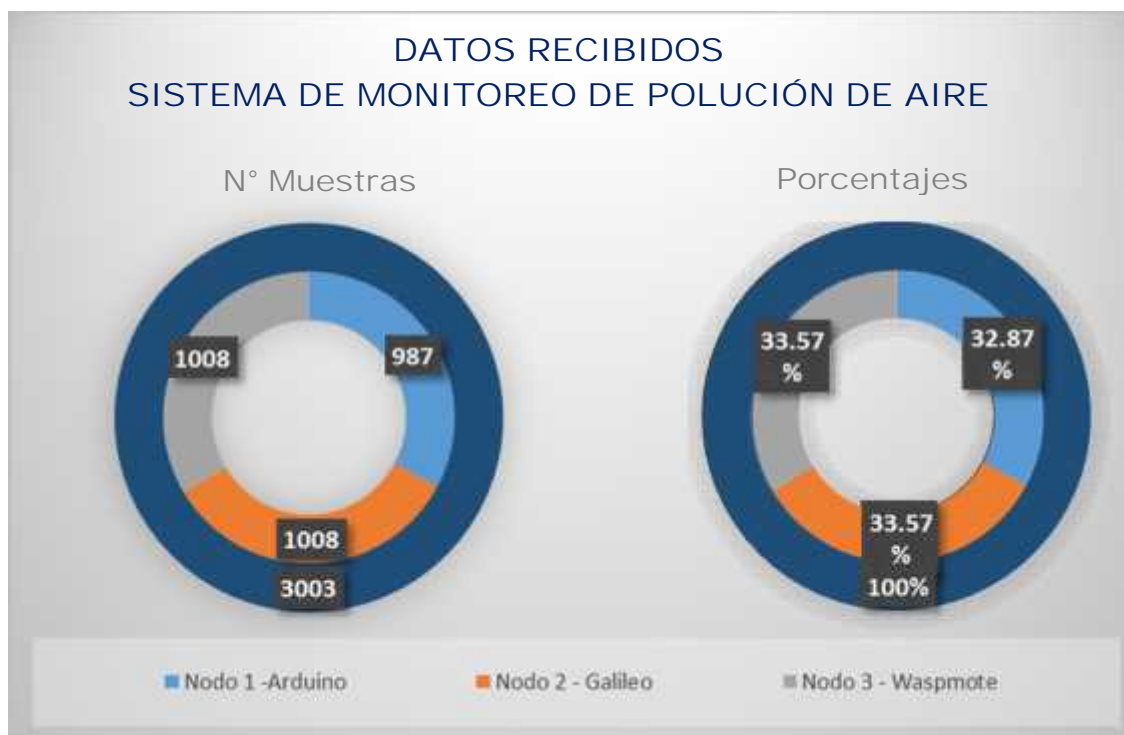
### **3.2.2 Disponibilidad del Sistema**

La red estuvo instalada y operable por siete días consecutivos con sus tres nodos recolectando datos, tiempo en el cual cada nodo sensor estuvo encargado de recolectar una muestra cada 10 minutos, intervalo establecido a través de la Interfaz de Control, recolectando un total de 144 muestras diarias. Durante este tiempo existieron períodos en que la disponibilidad de red es reducida pues el Nodo 1, plataforma Arduino, entra en un estado de inhibición dejando de comunicarse con el nodo coordinador de la red luego de una petición no respondida por el nodo, en la siguiente petición la plataforma regresa a su estado normal generando muestras de los contaminantes sensores.

Una red de sensores debe mantenerse operable durante las 24 horas del día pues una pausa en la medición podría significar pérdidas de información para el sistema y una descompensación en relación a las muestras tomadas por el resto de nodos de la red, por lo que esta falla en la disponibilidad de la red es una desventaja más para una red interoperable como la implementada.

### **3.2.3 Recepción de la Información**

La red WSN se encontró operativa durante un período de 168 horas continuas logrando la toma de un total de 3003 muestras obtenidas de los tres nodos en la distribución mostrada en la *Figura 3-11*.



**Figura 3-11** Integridad de Información

Fuente: Elaboración Propia

La plataforma Intel Galileo y Waspote entregaron la misma cantidad de datos, mientras que la plataforma Arduino tuvo una pérdida de 21 muestras con respecto al número total de muestras tomadas.

#### 3.2.3.1 Pérdidas en la Medición

El número de muestras esperadas según el tiempo de medición era de 1008 valores por cada nodo, obteniendo un total de 3024 muestras que debían ser recibidas por el Coordinador de la Red, de las cuales durante el período de medición se lograron un total de 3003 muestras determinándose pérdidas en un nodo, Arduino UNO, según muestra la *Tabla 3-1*.

**Tabla 3-1** Recepción de datos

NODOS SENSORES	VALORES IDEALES	VALORES RECIBIDOS	PÉRDIDAS
NODO ARDUINO	1008	987	21
NODO WASPMOTE	1008	1008	0
NODO GALILEO	1008	1008	0
<b>VALORES TOTALES</b>	3024	3003	21

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.2.4 Problemas generados por la Red

## FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Uno de los inconvenientes que se generan en la implementación de una red formada con diferentes plataformas, es que cada uno de ellos presenta características de funcionamiento distintas como es el caso de la fuente de alimentación, debido a que cada plataforma es alimentada con un voltaje distinto, así como con conectores diferentes, necesitando fuentes de poder personalizadas para cada nodo.

## PROGRAMACIÓN

La programación de un sistema con diferentes plataformas puede resultar tediosa, pues si se utiliza una única plataforma los diferentes nodos podrían ser programados bajo el mismo código, lo que no sucede en el sistema propuesto, donde es necesaria la programación individual para cada nodo desde su entorno de desarrollo. De igual manera el sistema de control, desarrollado en Java, necesita manipular independientemente los datos recibidos de cada plataforma para procesarlos y almacenarlos en la tabla apropiada de la base de datos, este proceso incrementa el tiempo de implementación de la red y complejidad en su configuración.

La interoperabilidad de la red depende principalmente de la programación de los nodos, pues esta especifica las tareas a desarrollar y los tiempos para cada una de ellas, conjuntamente la aplicación Java debe adaptarse a los requerimientos en librerías para cada plataforma, una vez que exista comunicación entre los nodos y la aplicación no existirá inconvenientes en el muestreo y almacenamiento de los datos, de generarse algún error posterior a este proceso se deberá al hardware correspondiente a alguno de los nodos.

## COMUNICACIÓN XBEE 802.15.4

Las pruebas previas a la implementación del sistema de monitoreo, se detectó los conflictos que producía los módulos XBE Pro S1 en el envío de datos hacia el Coordinador, pues tiene gran alcance mientras exista línea de vista entre las antenas, al encontrarse con cualquier interferencia por mínima que esta sea, se genera latencia en la red o en el peor de los casos se pierde conectiva hacia el nodo.

Un limitante adicional de los nodos basados en Arduino e Intel Galileo es que requieren adicionar un costo extra al momento de la implementación por el Shield necesario para conectar correctamente el módulo XBEE, mientras que Waspote adapta directamente este módulo, esto es un limitante únicamente en cuanto a costo pues no repercute de ninguna manera en el correcto funcionamiento de la red.

## ESCALABILIDAD

La interoperabilidad de distintas plataformas de IoT también pone en riesgo la escalabilidad de la red, pues al tratarse de una red de sensores inalámbricos es necesario tener un gran número de nodos dentro de un área para que estos puedan captar la mayor cantidad de muestras posibles, pero se observó en la red implementada con tres nodos de distintas plataformas generan dificultades y pérdidas de tiempo en la configuración, además ciertas pérdidas de muestras ocasionadas por interoperabilidad de diferentes marcas.

Al diseñar e implementar una red de mayores dimensiones, el proceso de configuración deberá ser personalizado para cada nodo resultando casi imposible por la gran cantidad de tiempo que se necesitaría para su programación y la coordinación de todos ellos en una única aplicación.

### 3.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son los protocolos y tecnologías utilizados por cada una de las plataformas IoT?

Las tecnologías de mayor preponderancia utilizadas por las plataformas IoT son inalámbricas, en conjunto con los protocolos necesarios para establecer una correcta comunicación; entre los que cabe destacar WiFi, WiMAX, Zigbee, 6LowPAN, etc.; siendo la tendencia actual utilizar Zigbee por su bajo consumo energético y el alcance que es capaz de brindar.

- ¿Cuáles son los problemas que surgen al no utilizar plataformas IoT del mismo tipo?

Al utilizar plataformas heterogéneas el principal inconveniente surge en la programación necesaria por cada uno de ellas, ya que pueden manejar instrucciones similares en su entorno de desarrollo pero, para realizar tareas más complejas difieren las instrucciones en su totalidad, lo que implica tener amplio conocimiento sobre cada una de las plataformas a utilizar y por tanto conlleva mayor tiempo en el despliegue de una red interoperable, de igual manera la fuente de alimentación necesaria varía dependiendo la plataforma siendo necesario realizar un acople para que trabajen correctamente.

- ¿Qué nivel de fiabilidad tiene la información emitida en redes con diferentes sistemas embebidos interoperables en la misma red?

Las curvas de los contaminantes entregada por cada uno de los nodos presentan cierta similitud, lo que nos permite determinar que cada uno independientemente de su plataforma han sentido correctamente los parámetros establecidos, demostrándolo por la coherencia de información entre ellos, sin embargo, la plataforma Arduino no entregó el número total de muestras esperada, a pesar de ser un número pequeño puede ser de vital importancia en aplicaciones críticas.

- ¿Cuál es el porcentaje en que se ve reducido el tiempo de vida energética de los dispositivos que intervienen en una red interoperativa?

Cada plataforma posee diferentes características de alimentación, independientemente de esto la red se mantiene completamente operativa sin importar la plataforma en que se

basan cada uno de los nodos, dependiendo únicamente de la vida útil de la fuente de alimentación que utilice cada nodo.

## CONCLUSIONES

- La interoperabilidad de plataformas IoT no es la opción más conveniente para la implantación de una red de monitoreo pues necesitan programación personalizada por cada nodo, lo que conlleva gran cantidad de tiempo y dificulta el proceso de implementación de la red,
- Entre las plataformas utilizadas, se puede determinar que la plataforma Intel Galileo es de fácil programación y ofrece estabilidad a la red, pues durante el tiempo de pruebas no presentó ningún tipo de fallo ni pérdida en los datos recolectados, además de contar con presencia en el mercado, lo que no sucede con Waspote que únicamente puede ser adquirida mediante importación o en ciertos mercados seleccionados a un costo no tan accesible.
- El nivel de interoperabilidad entre las plataformas analizadas Arduino, Intel Galileo y Waspote es medio, luego del tiempo de prueba del sistema se detectó una pérdida de 21 de los datos muestreados, lo que indica que la red es funcional pero la información recolectada no es completa, pudiendo ser de gran importancia en sistemas críticos donde cada valor juega un papel importante para el sistema.
- Una red con plataformas IoT interoperable es aplicable para redes de sensores de pequeña magnitud donde necesita realizar las configuraciones de cada equipo independientemente, lo que no ocurre con las redes de gran extensión que necesitan contar con procesos automatizados más no personalizados, pues implicaría una gran inversión de tiempo y dinero.
- Para implementar una red inalámbrica en la ESPOCH es necesario que cada plataforma cuente con módulos de comunicación inalámbrica con antenas de alta potencia por el alcance que pueden llegar a proporcionar, pues se pudo notar la presencia de gran cantidad de interferencias por presencia de estructuras físicas como de otras redes que pudieran interrumpir la comunicación.
- Además de todos los factores a tomar en cuenta en el análisis de interoperabilidad es necesario tomar en cuenta la seguridad de la red, pues la información que esta procesa debe ser protegida de cualquier tipo de intrusión pues resulta datos de tipo crítico para las entidades que la implementaron.

## RECOMENDACIONES

- Diseñar e implementar redes con plataformas IoT homogéneas, ya que se puede tener una reducción de costos y disminuir la complejidad en configuraciones, así como garantizar la integridad de la información y disponibilidad del sistema.
- Realizar pruebas previas con los nodos y el gateway de la red en el área a sensor, con la finalidad de detectar posibles interferencias y determinar la ubicación más adecuada para cada nodo, así como la potencia de las antenas requerida para una transmisión óptima.
- Las futuras redes a ser implementadas deben ser orientadas hacia los usuarios brindándoles interfaces amigables y comprensibles, a través de aplicaciones las cuales puedan obtener información detallada de las mediciones realizadas en tiempo real.
- La plataforma Arduino UNO no es recomendable usar en sistemas críticos y de uso intensivo ya que pueden presentar periodos de inhibición que generan pérdida de datos, que no es aceptable para ningún tipo de red y aún menos en una plataforma de desarrollo de IoT.
- Si se requiere sensor determinados parámetros en locaciones con dificultad de acceso, se debería implementar una red de sensores inalámbrica, que facilita la ubicación de los nodos por la movilidad que presentan, fácil acceso y comprensión de los resultados incluso accedendo desde cualquier lugar a través de internet.



## BIBLIOGRAFÍA

**Agenciasinc. 2013.***La empresa zaragozana Libelium lanza con IBM un kit para el internet de las cosas.* [En línea] 2013. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] <http://www.agenciasinc.es/Noticias/La-empresa-zaragozana-Libelium-lanza-con-IBM-un-kit-para-el-internet-de-las-cosas>.

**AliExpress. 2015.***AliExpress.* [En línea] 2015. [Citado el: 1 de Noviembre de 2015.] <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-arduino-sensor-kit.html>.

**Arduino. 2015.***Arduino.* [En línea] 2015. [Citado el: 5 de Septiembre de 2015.] <https://www.arduino.cc/en/Products/Counterfeit>.

**Arduino. 2016.***Arduino.* [En línea] Arduino, 2016. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] <https://www.arduino.cc/>.

**Arduino.cc. 2016.***Arduino - IntelGalileo.* [En línea] Arduino.cc, 2016. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelGalileo>.

**Arduino.cc. 2016.***Arduino - IntelGalileoGen 2.* [En línea] 2016. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelGalileoGen2>.

**Barcell, Manuel Fernandez. 2010.** M.F.BARCELL. [En línea] 2010. [Citado el: 5 de Diciembre de 2015.] <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>.

**Bliznakoff del Valle, David. 2014.** IoT: Tecnologías, usos, tendencias y desarrollo futuro (tesis).(Maestría). [En línea] Universidad Abierta de Cataluña, Barcelona, España, 2014. [Citado el: 10 de Diciembre de 2015.] <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/40044/6/dbliznakoffTFM0115memoria.pdf>.

**Burbano García, Jhomaira Lorena. 2014.** Red WSN para el control y monitoreo de un sistema de riego por goteo de una plantación de fresas en la granja experimental Yuyucocha (tesis). [En línea] Univesidad Técnica del Norte, Ibarra, Imbabura, 2014. [Citado el: 2 de Diciembre de 2015.] <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3526/1/04%20RED%20031%20TESIS.pdf>.

**Carbajal Flores, Esther Elena . 2012.** Redes de Sensores Inalámbricos aplicado a la Medicina (tesis).(Maestría). [En línea] Universidad de Cantabria, Cantabria, España, 2012. [Citado el: 20 de Octubre de 2015.] <http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1288/349251.pdf?sequence=1>.

**Cisco. 2015.***Internet of Things*. [En línea] 2015. [Citado el: 1 de Enero de 2016.] [http://www.cisco.com/web/ES/assets/executives/pdf/Internet\\_of\\_Things\\_IoT\\_IBSG\\_0411FINA L.pdf](http://www.cisco.com/web/ES/assets/executives/pdf/Internet_of_Things_IoT_IBSG_0411FINA L.pdf).

**Clickplus. 2013.***Arduino Shield - Xbee*. [En línea] 2013. [Citado el: 25 de Enero de 2016.] <http://www.clickplus.es/p1775>.

**Digi. 2016.***XBee and ZigBee Basic Concepts*. [En línea] 2016. [Citado el: 12 de Enero de 2016.] [http://ftp1.digi.com/support/documentation/html/90001399/90001399\\_A/Files/XBee-concepts.html](http://ftp1.digi.com/support/documentation/html/90001399/90001399_A/Files/XBee-concepts.html).

**Digi International.***Digi International*. [En línea] <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>.

**Digi.com. 2015.***Xbee Serie 1*. [En línea] 2015. [Citado el: 17 de Enero de 2016.] <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modules/xbee-series1-module#specifications>.

**Xbee. 2015.***Xbee Serie 2*. [En línea] 2015. [Citado el: 17 de Enero de 2016.] <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modules/xbee-zigbee#specifications>.

**Xbee. 2015.***Diferencias Xbee Serie 1 y Xbee Serie 2*. [En línea] 2015. [Citado el: 17 de Enero de 2016.] [http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge\\_Base\\_Article/The-Major-Differences-in-the-XBee-Series-1-vs-the-XBee-Series-2](http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge_Base_Article/The-Major-Differences-in-the-XBee-Series-1-vs-the-XBee-Series-2).

**e2v. 2009.***Datasheet / MICS-2714*. [En línea] 2009. [Citado el: 20 de Agosto de 2015.] [http://www.e2v.com/shared/content/resources/File/sensors\\_datasheets/Metal\\_Oxide/mics-2714.pdf](http://www.e2v.com/shared/content/resources/File/sensors_datasheets/Metal_Oxide/mics-2714.pdf).

**Emprendedores. 2015.***Libelium: Sensores inalámbricos*. [En línea] 2015. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] <http://www.emprendedores.es/casos-de-exito/libelium>.

**Escolar Díaz, M. Soledad. 2005.** *Wireless Sensor Networks: Estado del arte e Investigación*. [En línea] 2005. [Citado el: 20 de Octubre de 2015.] [http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index\\_files/presentacion/wsn.pdf](http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf).

**Fernández Martínez, Roberto, y otros. 2013.** *Redes de Sensores Inalámbricas: Teoría y Aplicación Práctica*. [En línea] 2013. [Citado el: 16 de Septiembre de 2015.] <http://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf>.

**Filipeflop. 2014.** *Xbee Explorer USB Adapter*. [En línea] 2014. [Citado el: 25 de Enero de 2015.] Filipeflop.

**Fundacion Bankinter. 2011.***El Internet de las Cosas / En un mundo conectado de objetos inteligentes*. [En línea] 2011. [Citado el: 13 de Enero de 2016.]

<https://www.fundacionbankinter.org/documents/11036/55146/RE+ES+IoT/6cfa0f1e-f8e6-4064-b32c-e9037870e084>.

**hama. 2005.** hama. [En línea] 2005. [Citado el: 11 de Enero de 2016.] [http://www.hama.es/catalog/product\\_info.php?products\\_id=12218](http://www.hama.es/catalog/product_info.php?products_id=12218).

**Howmuchsnow. 2012.***Monitoring your Air Quality*. [En línea] 2012. [Citado el: 19 de Agosto de 2015.] <http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/grovedust/>.

**Intel. 2015.***Galileo Generación 1 y 2: ¿Que ha cambiado?* [En línea] Intel, 2015. [Citado el: 10 de Enero de 2015.] <https://engage.intel.com/community/es/galileo/blog-galileo/blog/2014/12/04/galileo-generaci%C3%B3n-1-y-2-que-ha-cambiado>.

—. **2015.***Intel*. [En línea] Intel, 2015. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] [www.intel.com](http://www.intel.com).

**IoT Worm. 2015.***IoT WORM / Internet of Things Worm*. [En línea] Iotworm, 2015. [Citado el: 12 de Noviembre de 2015.] <http://iotworm.com/biggest-challenges-for-the-internet-of-things/>.

**Libelium. 2015.***Libelium*. [En línea] 2015. [Citado el: 8 de Enero de 2016.] <http://www.libelium.com/>.

**Loyola Pinos, María Augusta y Becerra Delgado, Paul Alfonso. 2015.** Manual para la aplicación de la Tecnología Zigbee para edificios inteligentes en la ciudad de Cuenca (tesis). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2015. [Citado el: 12 de Diciembre de 2015.] <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7986/1/UPS-CT004855.pdf>.

**Márquez, Marcelo R., Lara, Román A. y Gordillo, Rodolfo X. 2014.**A New Prototype of Smart Parking Using Wireless. [En línea] 2014. [Citado el: 24 de Enero de 2016.] [http://telecomunicaciones.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2014/11/SmartParkingsmallpdf.com\\_.pdf](http://telecomunicaciones.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2014/11/SmartParkingsmallpdf.com_.pdf).

**Mejía Quintero, Estefanía . 2012.***TECHNO cologique / El Vestuario como Sensor Ambiental (tesis)*. [En línea] 2012. [Citado el: 30 de Agosto de 2015.] [https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/68087/2/paper\\_technocologique\\_%20vestuario.pdf](https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68087/2/paper_technocologique_%20vestuario.pdf).

**MEMSIC, Inc. 2016.***MEMSIC Powerful Solutions*. [En línea] 2016. [Citado el: 6 de Enero de 2016.] <http://www.memsic.com/wireless-sensor-networks/WSN-EDU2400CB>.

**Ministerio del Ambiente. 2012.***Plan Nacional de la Calidad del Aire*. [En línea] 31 de Octubre de 2012. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>.

**Ministerio del Ambiente. 2012.***Acuerdo Miniserial No 50.* [En línea] 2012. [Citado el: 11 de Enero de 2015.]

**National Instruments. 2016.***National Instruments.* [En línea] National Instruments Corporation, 2016. [Citado el: 2 de Diciembre de 2015.] <http://www.ni.com/white-paper/7118/en/>.

**nest. 2016.***nest.* [En línea] nest labs, 2016. [Citado el: 7 de Enero de 2016.] <https://nest.com/>.

**OMS. 2014. OMS. OMS.** [En línea] Marzo de 2014. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.

**Philips Lighting. 2015.***hue / PERSONAL WIRELESS LIGHTING.* [En línea] 2015. [Citado el: 10 de Enero de 2016.] <http://meethue.com/>.

**Potscales. 2013.***Potscales Tracking the Internet of Things.* [En línea] 2013. [Citado el: 20 de Noviembre de 2015.] <http://postscales.com/internet-of-things-technologies>.

**Schroyer, Matthew . 2014.***DustDuino.* [En línea] 2014. [Citado el: 6 de Agosto de 2015.] <https://github.com/dustduino/DustDuinoSerial/blob/master/DustDuinoSerial/DustDuinoSerial.ino>.

**Shelby, Zach y Bormann, Carsten. 2011.***6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet.* Chippenham : Wiley, 2011.

**Shinyei. 2010.***Datasheet / PPD42NS.* [En línea] 2010. [Citado el: 25 de Septiembre de 2015.] <http://www.sca-shinyei.com/pdf/PPD42NS.pdf>.

**Sparkfun. 2002.***Datasheet / MQ-7.* [En línea] 2002. [Citado el: 15 de Agosto de 2015.] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>.

**Uva, M., Falcone, R. y McClellan, A. 2009.***SD Air Quality.* [En línea] 2009. [Citado el: 30 de Junio de 2015.] [http://wireless.ece.drexel.edu/research/sd\\_air\\_quality.pdf](http://wireless.ece.drexel.edu/research/sd_air_quality.pdf).

**Webdelcire.com. 2016.***Comenzando con ZigBee. / C.I.r.E.* [En línea] 2016. [Citado el: 13 de Enero de 2016.] <http://webdelcire.com/wordpress/archives/1714>.

**Werner-Allen, Geoffrey, y otros. 2004.** Monitoring Volcanic Eruptions with a Wireless Sensor Network. [En línea] 2004. [Citado el: 24 de Enero de 2016.] <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/papers/volcano-ewsn05.pdf>.

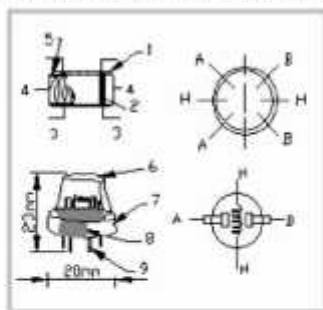
**xataka. 2013.***Xataka / apasionados por la ciencia.* [En línea] xataka, 2013. [Citado el: 4 de Diciembre de 2015.] <http://www.xataka.com/makers/intel-galileo-placa-de-desarrollo-fruto-de-la-colaboracion-entre-intel-y-arduino>.

**ZigBee Alliance. 2015.***Zigbee Alliance*. [En línea] Zigbee Alliance, 2015. [Citado el: 25 de Noviembre de 2015.] <http://www.zigbee.org/>.

**ANEXOS**

# **ANEXO 1**

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO <sub>2</sub>
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100 mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

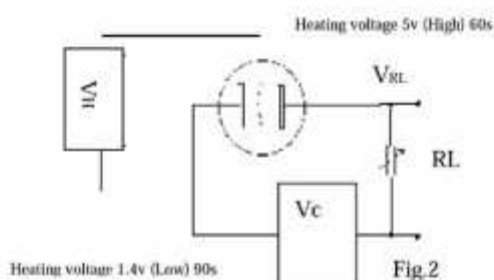
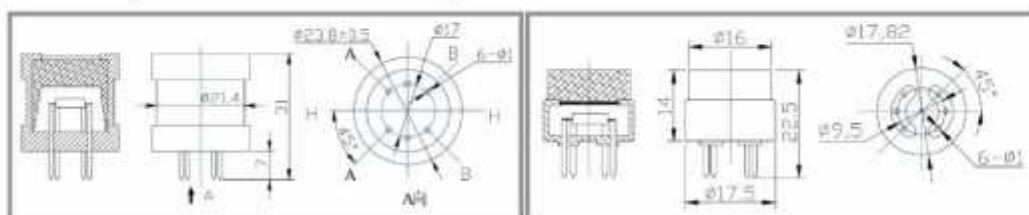


Fig.2

#### Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly ). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

#### E. Sensitivity characteristic curve

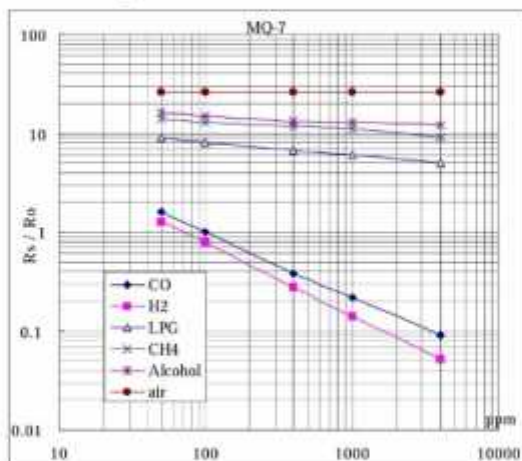


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

In their: Temp: 20℃.

Humidity: 65%.

O<sub>2</sub> concentration 21%

RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm

CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various

concentrations of gases.



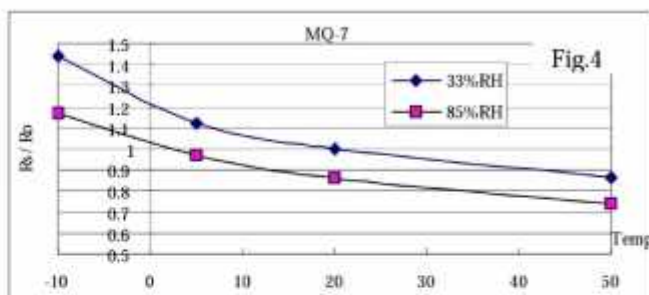


Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.

R<sub>0</sub>: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.

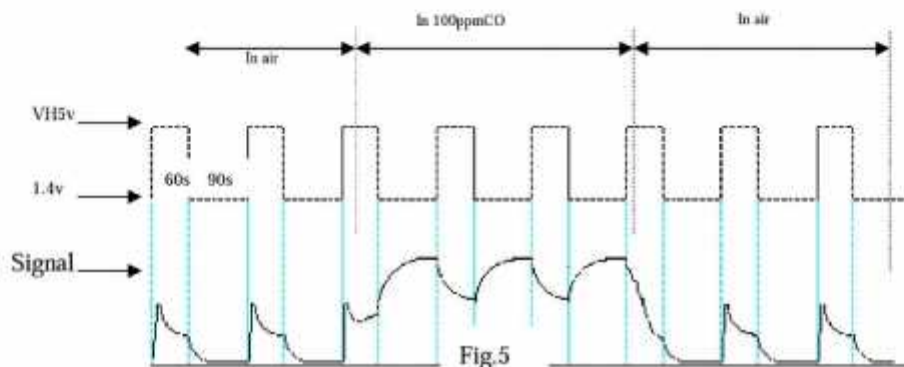
R<sub>s</sub>: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

### OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R<sub>s</sub> is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R<sub>L</sub> which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \backslash R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R<sub>L</sub> signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO<sub>2</sub> with stability. So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

### SENSITIVITY ADJUSTMENT

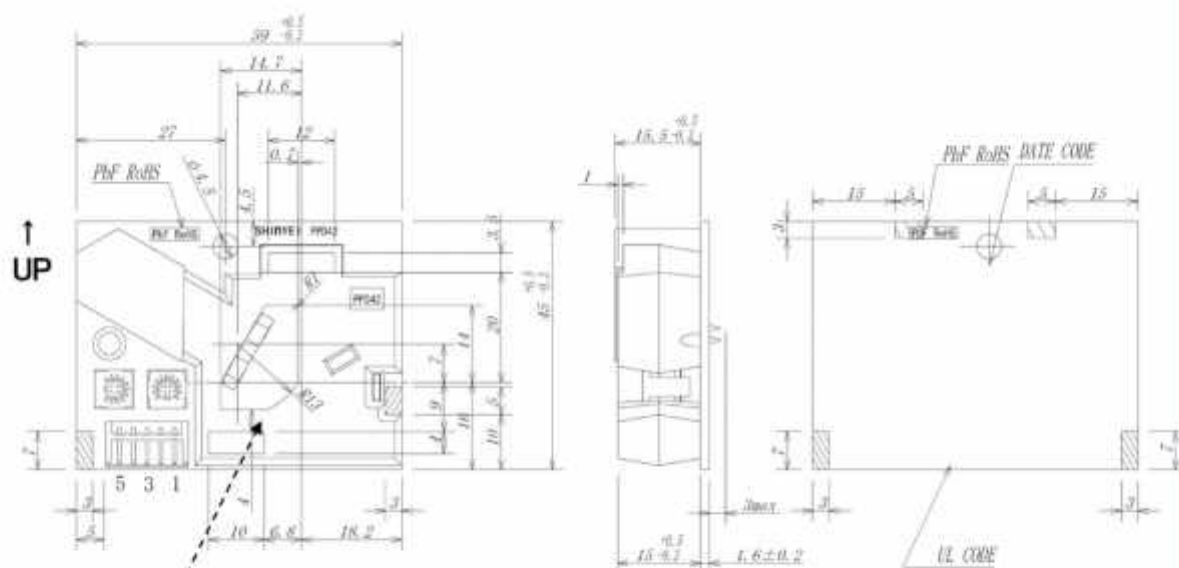
Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that (R<sub>L</sub>) about 10 KΩ (5KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R<sub>L</sub> until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R<sub>L</sub> until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

**Fig. 1**



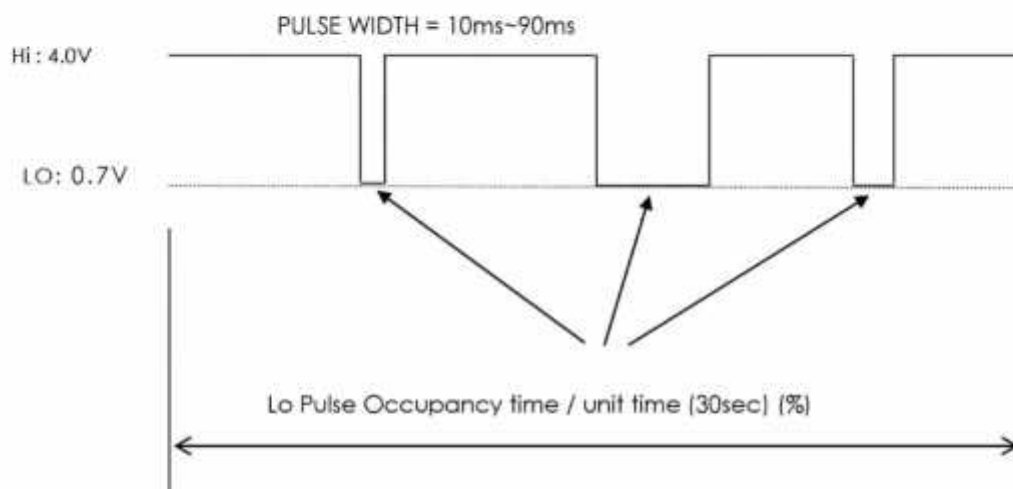
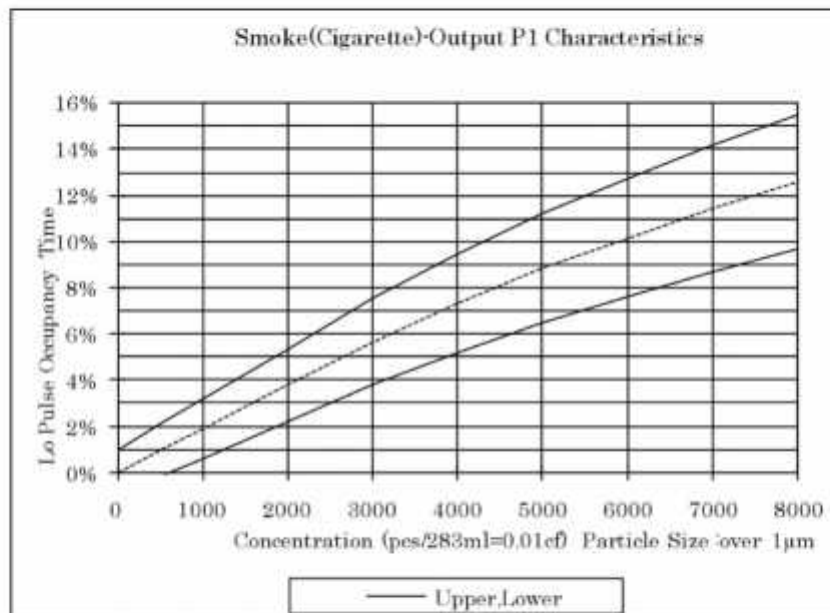
Rib (inside of housing)

An additional rib structured to inside of housing to hide RH1 lead wire from view. Following components replaced with equivalent ones; OP-Amp, Volume and Al Electrolytic Cap.

### Connector

- CN : S5B-EH(JST)  
 1 : COMMON(GND)  
 2 : OUTPUT(P2)  
 3 : INPUT(5VDC 90mA)  
 4 : OUTPUT(P1)  
 5 : INPUT(T1) ... FOR THRESHOLD FOR [P2]

**Fig. 2**



This datasheet describes the use of the MiCS-2714. The package and the mode of operation illustrated in this document target the detection of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>).

### FEATURES

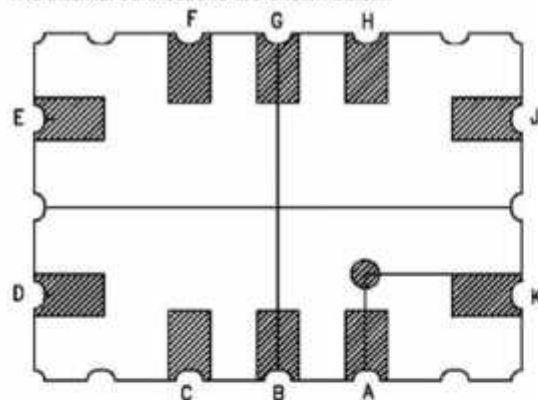
- Low heater current
- Wide detection range
- Wide temperature range
- High sensitivity
- Short pre-heating time
- ESD protection diodes
- SMD package with miniature dimensions
- High resistance to shocks and vibrations
- Compliant with automotive test requirements

### SENSOR CONFIGURATION

The silicon gas sensor structure consists of an accurately micro machined diaphragm with an embedded heating resistor and the sensing layer on top.

The MiCS-2714 includes one sensor chip with independent heater and sensitive layer.

The internal connections are shown below.



Pin	Connection
A	Rh1
B	Rs1
C	
D	
E	
F	
G	
H	Rh2
J	Rs2
K	NC

Rs: sensor resistance  
Rh: heater resistance

Figure 1: MiCS-2714 configuration (bottom view)

Whilst e2v technologies has taken care to ensure the accuracy of the information contained herein it accepts no responsibility for the consequences of any use thereof and also reserves the right to change the specification of goods without notice. e2v technologies accepts no liability beyond the set out in its standard conditions of sale in respect of infringement of third party patents arising from the use of tubes or other devices in accordance with information contained herein.

e2v technologies (uk) limited, Waterhouse Lane, Chelmsford, Essex CM1 2QU United Kingdom Telephone: +44 (0)1245 493493 Facsimile: +44 (0)1245 492492

e-mail: [enquiries@e2v.com](mailto:enquiries@e2v.com) Internet: [www.e2v.com](http://www.e2v.com) Holding Company: e2v technologies plc

e2v technologies inc. 4 Westchester Plaza, PO Box 1482, Elmsford, NY10523-1482 USA Telephone: (914) 592-6050 Facsimile: (914) 592-5148 e-mail: [enquiries@e2vtechnologies.us](mailto:enquiries@e2vtechnologies.us)

© e2v technologies (uk) limited 2007



### OPERATING MODE

The recommended mode of operation is a constant power on each sensor. The nominal power for the sensor is  $P_H = 43 \text{ mW}$ . The resulting temperature of the sensing layer is about 220 °C, in air at approximately 20 °C.

Detection of the pollution gases is achieved by measuring the sensing resistance of the sensor. The sensor resistance increases in the presence of NO<sub>2</sub>.

### POWER CIRCUIT EXAMPLE

As shown below, one external load resistor can be used to power the heater with a single 5 V power supply.

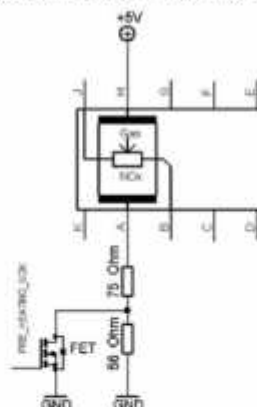


Figure 2: MiCS-2714 with recommended supply circuit (top view)

R is 131 Ω. This resistor is necessary to obtain the right temperature on the heater while using a single 5 V power supply. The resulting voltage is typically  $V_H = 1.7 \text{ V}$ .

## MEASUREMENT CIRCUIT EXAMPLE

As shown below, the sensitive resistance shall be read by using a load resistor.

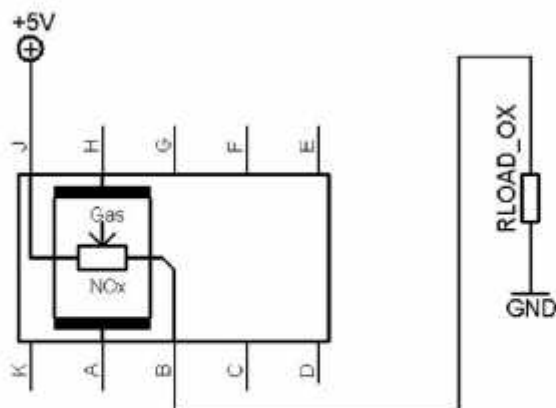


Figure 3: MiCS-2714 with measurement circuit (top view)

The voltage measured on the load resistor is directly linked to the resistance of the sensor.

## IMPORTANT PRECAUTIONS

Read the following instructions carefully before using the MiCS-2714 described in this document to avoid erroneous readings and to prevent the device from permanent damage.

- The sensor must be reflow soldered in a neutral atmosphere, without soldering flux vapours.
- The sensor must not be exposed to high concentrations of organic solvents, ammonia, silicone vapour or cigarette-smoke in order to avoid poisoning the sensitive layer.
- Heater voltages above the specified maximum rating will destroy the sensor due to overheating.
- This sensor is to be placed in a filtered package that protects it against water and dust projections.
- For any additional questions, contact e2v.

## OX SENSOR CHARACTERISTICS

The typical sensor response to NO<sub>2</sub> in air is represented in Figure 4. The sensor resistance R<sub>S</sub> is normalised to the resistance under air (R<sub>0</sub>).

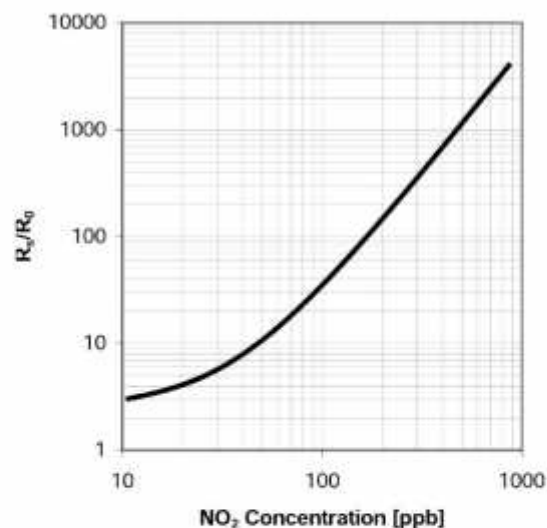


Figure 4: R<sub>S</sub>/R<sub>0</sub> as a function of NO<sub>2</sub> concentration at 40% RH and 25 °C, measured on an engineering test bench

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating	Symbol	Value/Range	Unit
Maximum heater power dissipation	P <sub>H</sub>	50	mW
Relative humidity range	R <sub>H</sub>	5 95	%RH
Ambient operating temperature	T <sub>amb</sub>	-30 85	°C
Storage temperature range	T <sub>sto</sub>	-40 120	°C
Storage humidity range	RH <sub>sto</sub>	5 95	%RH

## OPERATING CONDITIONS

Parameter	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
Heating power	P <sub>H</sub>	83	30	50	mW
Heating voltage	V <sub>H</sub>	1.7	-	-	V
Heating current	I <sub>H</sub>	26	-	-	mA
Heating resistance at nominal power	R <sub>H</sub>	66	59	73	Ω

## SENSITIVITY CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Typ	Min	Max	Unit
NO <sub>2</sub> detection range	FS		0.05	5	ppm
Sensing resistance in air (see note 1)	R <sub>0</sub>	-	0.8	8	kΩ
Sensitivity factor (see note 2)	S <sub>R</sub>	55	6	100	-

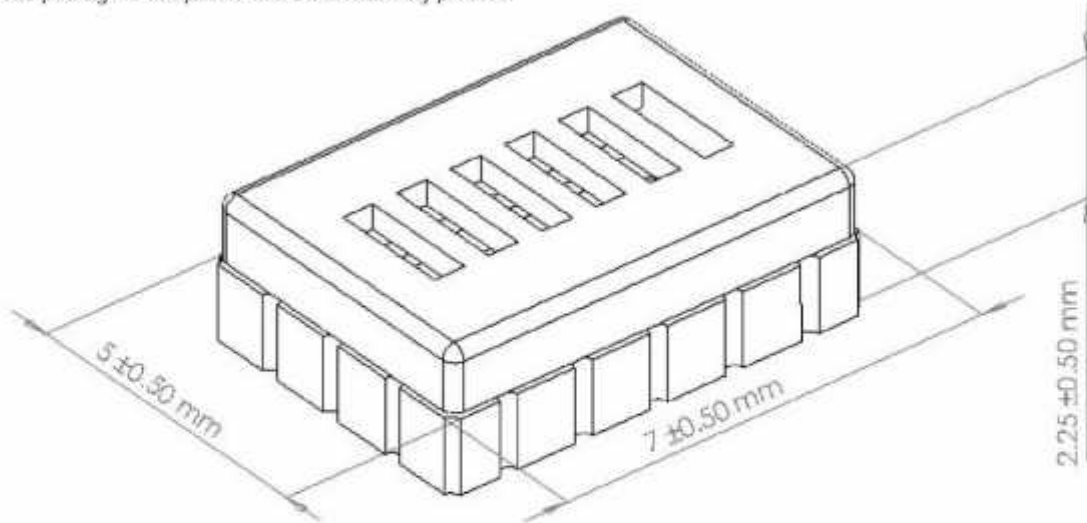
### Notes:

1. Sensing resistance in air R<sub>0</sub> is measured under controlled ambient conditions, i.e. synthetic air at 23 ± 5 °C and ≤5% RH. Indicative values only.
2. Sensitivity factor S<sub>R</sub> is defined as R<sub>S</sub> at 0.25 ppm of NO<sub>2</sub>, divided by R<sub>S</sub> in air. Test conditions are 23 ± 5 °C and ≤5 % RH. Indicative values only.

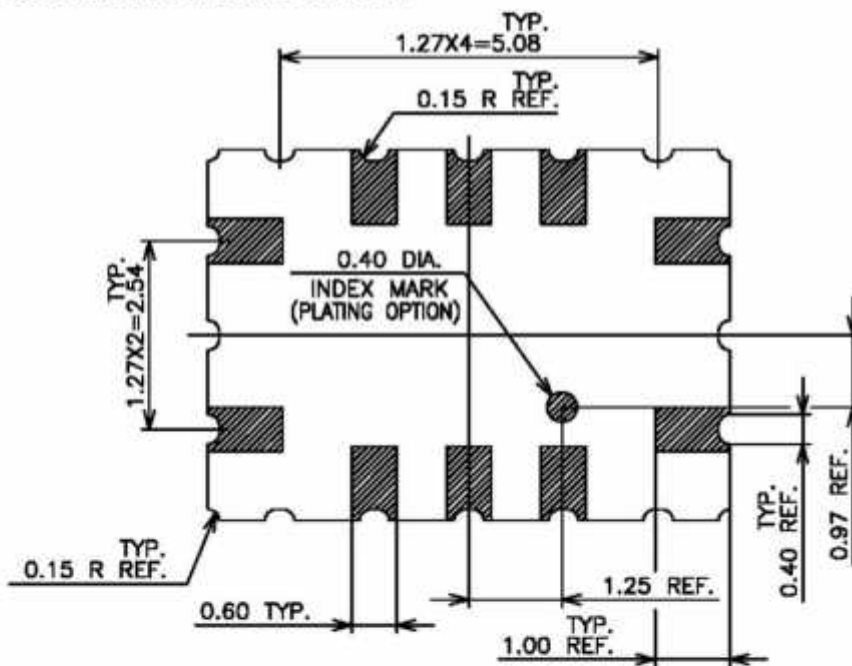


## PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS

The package is compatible with SMD assembly process.



## SOLDERING PADS GEOMETRY



# **ANEXO 2**

### Código de Programación Arduino UNO

```
char mensaje;
unsigned long sampletime_ms = 30000;
unsigned long startttime;
unsigned long triggerOnP1;
unsigned long triggerOffP1;
unsigned long pulseLengthP1;
unsigned long durationP1;
boolean triggerP1 = false;
boolean condicion = true;
boolean valP1 = HIGH;
float ratioP1 = 0;
float countP1;
float concLarge;

const int pinNO2 = A4;
const int pinCO = A5;
const int pinPM10 = 7;
float CO;
float NO2;
float PM10;

void setup() {
  pinMode(PM10, INPUT);
  Serial.begin(115200);
  delay(500);
}

void loop() {
  if (Serial.available()>0){
  mensaje = Serial.read();
    delay(2000);
    if (mensaje == 'A'){
  Serial.println("OK-A");
    }
    if (mensaje=='1'){
  CO = GasCO();
  NO2 = GasNO2();
    PM10 = ParticulasPM10();
    enviar(CO);
  enviar(NO2);
    enviar(PM10);
    }
  }
}
```



```

void enviar(float num){
    int entero;
    int decimal;
    num = num * 100.0;
    entero = (int)num / 100;
    decimal = (int)num % 100;
    Serial.write((byte)entero);
    Serial.write((byte)decimal);
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float GasCO (){
    float val=0.0;
    for (int i=0;i<10;i++){
        val+=analogRead(pinCO);
    }
    val /=10.0;
    return val;
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float GasNO2 (){
    float val=0.0;
    for (int i=0;i<10;i++){
        val += analogRead(pinNO2);
    }
    val = val / 10.0 ;
    //val = 1.08;
    //val +=1.0;
    return val;
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
int ParticulasPM10(){
    boolean condicion = true;
    float val=0.0;
    starttime = millis();
    do {
        valP1 = digitalRead(pinPM10);
        if(valP1 == LOW && triggerP1 == false){
            triggerP1 = true;
            triggerOnP1 = micros();
        }

        if (valP1 == HIGH && triggerP1 == true){
            triggerOffP1 = micros();
            pulseLengthP1 = triggerOffP1 - triggerOnP1;
            durationP1 = durationP1 + pulseLengthP1;
            triggerP1 = false;
        }
    }
}

```

```
        if ((millis() - starttime) > sampletime_ms) {  
            ratioP1 = durationP1/(sampletime_ms*10.0);  
durationP1 = 0;  
            condicion = false;  
        }  
    }while(condicion);  
    return ratioP1;  
}
```

## Código de Programación Intel Galileo

```
char mensaje;
unsigned long sampletime_ms = 30000;
unsigned long starttime;
unsigned long triggerOnP1;
unsigned long triggerOffP1;
unsigned long pulseLengthP1;
unsigned long durationP1;
boolean triggerP1 = false;
boolean condicion = true;
boolean valP1 = HIGH;
float ratioP1 = 0;
float countP1;
float concLarge;

const int pinNO2 = A4;
const int pinCO = A5;
const int pinPM10 = 7;
float CO;
float NO2;
float PM10;

int code = 1;
int code1 = 7;
int code2 = 6;
int code3 = 99;
////////////////////////////////////
void setup() {
    pinMode(PM10, INPUT);
    Serial1.begin(115200);
    delay(800);
}

void loop() {
    if(Serial1.available()>0){
mensaje = Serial1.read();
        if (mensaje == 'A'){
Serial1.println("OK-G");
        }
        if (mensaje == '1'){
            CO =GasCO();
NO2 = GasNO2();
PM10 = ParticulasPM10();
            enviar(CO);
            enviar(NO2);
enviar(PM10);
        }
    }
}
```

```

void enviar(float num){
    int entero;
    int decimal;
    entero= (int)num / 100;
    decimal = (int)num % 100;
    Serial1.write((byte)entero);
    Serial1.write((byte)decimal);
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float GasCO(){
    float val=0.0;
    for(int i=0;i<10;i++){
        val +=analogRead(pinCO);
    }
    val /= 10.0;
    return val;
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float GasNO2(){
    float val=0.0;
    for(int i=0;i<10;i++){
        val += analogRead(pinNO2);
    }
    return val;
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float ParticulasPM10(){
    boolean condicion = true;
    starttime = millis();
    do {
        valP1 = digitalRead(pinPM10);
        if(valP1 == LOW && triggerP1 == false){
            triggerP1 = true;
            triggerOnP1 = micros();
        }
        if (valP1 == HIGH && triggerP1 == true){
            triggerOffP1 = micros();
            pulseLengthP1 = triggerOffP1 - triggerOnP1;
            durationP1 = durationP1 + pulseLengthP1;
            triggerP1 = false;
        }
        if ((millis() - starttime) > sampletime_ms) {
            ratioP1 = durationP1/(sampletime_ms*10.0);
            durationP1 = 0;
            condicion = false;
        }
    }while(condicion);
    return ratioP1;
}

```

## Código de Programación Waspnote

```
#include <WaspXBee802.h>
#include <WaspFrame.h>
#include <WaspSensorGas_v20.h>

#define GAIN 1
#define RESISTOR 10
#define RESISTOR2 1

int val;

float noVal;
float noRes;
float coRes;
float coVal;
float coUG;
float V;
float coppm;
int coConcentration[3]={50,100,300};
float coPoints[3]={114.3312,40.2036,11.7751};

float dustVal=0;
int delayTime=280; /// por datasheet
int delayTime2=40; /// por datasheet
float offTime=9680;
char RX_ADDRESS[] = "0013A20040D4B63D";
char WASPMOTE_ID[] = "W";

uint8_t error;

float a=123.67;
float b=2.32;
float c=5.09;

char mensaje;

void setup()
{
    USB.ON();
    delay(5000);
    SensorGasv20.ON();

    SensorGasv20.configureSensor(SENS_SOCKET4CO,GAIN,RESISTOR);

    SensorGasv20.configureSensor(SENS_SOCKET3B,GAIN,RESISTOR2);
    SensorGasv20.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET3B);
    delay(40000);
    pinMode(DIGITAL2,OUTPUT);
    digitalWrite(DIGITAL2,HIGH);
    frame.setID( WASPMOTE_ID );
    xbee802.ON();
}
```

```

void loop()
{
    if (xbee802.available()>0){

        mensaje = xbee802.receivePacketTimeout( 10000 );
        char msj = ( xbee802._payload, xbee802._length);
        coVal = SensorGasv20.readValue(SENS_SOCKET4CO);
        coRes = SensorGasv20.calculateResistance(SENS_SOCKET4CO,
        coVal, GAIN, RESISTOR);
        coppm
        =SensorGasv20.calculateConcentration(coConcentration,coPoints,coVal);

        noVal = SensorGasv20.readValue(SENS_SOCKET3B);

        digitalWrite(DIGITAL2,LOW);
        delayMicroseconds(delayTime);
        dustVal=analogRead(ANALOG1);
        delayMicroseconds(delayTime2);
        digitalWrite(DIGITAL2,HIGH);
        delayMicroseconds(offTime);
        frame.createFrame(ASCII);
        frame.addSensor(SENSOR_GPS, coppm);
        frame.addSensor(SENSOR_GPS, noVal );
        frame.addSensor(SENSOR_GPS, dustVal);
        frame.showFrame();

        uint8_t r =0;
        error = xbee802.send( RX_ADDRESS, frame.buffer,
        frame.length );

        if( error == 0 )
        {
            USB.println(F("send ok"));
        }
        else
        {
            USB.println(F("send error"));
        }

        //delay(900);
    }
    xbee802.flush();
}

```

## **ANEXO 3**

Debido a la longitud del código se encuentra en formato digital, adjunto al trabajo de titulación.

## **ANEXO 4**

Debido a la longitud del código se encuentra en formato digital, adjunto al trabajo de titulación.